

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta Strojní
Katedra energetiky

Návrh přestavby rozvodné sítě CZT Přerov

The Rebuilding Desing of Distributing Net of Central Heating
System Přerov

Student:

Jiří Petýrek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Míka, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Petýrek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh přestavby rozvodné sítě CZT Přerov**
The Rebuilding Design of Distributing Nets of Central Heating System
Přerov

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh přestavby doživající parní rozvodné sítě CZT Přerov na horkovodní síť s teplotním režimem 130 / 70 °C v zimním a 80 / 50 °C v letním období.

Práce bude obsahovat:

1. Hydraulický výpočet sítě, výpočet optimalizace tepelné izolace sítě.
2. Návrh výměníku zdrojové předávací stanice.
3. Porovnání současného stavu a stavu po provedení přestavby.

Grafická část bude obsahovat:

Konstrukční návrh výměníku a konstrukční řešení rozvodné sítě.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, V. a kol.. *Parní kotle a spalovací zařízení*. SNTL Praha, 1975.
KOLAT, P. *Přenos tepla a hmoty*. Skripta VŠB Ostrava, 1987.
ON 074017 *Tepelný výpočet parních kotlů*.
DLOUHÝ, T. *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. ČVUT Praha 2007, ISBN 978-80-01-03757-7.
HRADIL, F. *Potrubní systémy*. VŠB - TU Ostrava, 1979.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Míka, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 10.5.2012


.....

Jiří Petýrek

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Jiřímu Míkovi, CSc. za kladný přístup, pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 10.5.2012



Jiří Petýrek

Jméno a příjmení autora práce:

Jiří Petýrek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hrubčice 22

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. PETÝREK, J. *Návrh přestavby rozvodné sítě CZT Přerov*: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra energetiky, 2012, 111 s: Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Míka, CSc.

V diplomové práci se zabývám návrhem přestavby stávající parní sítě v Přerově na horkovodní tepelnou síť. V práci je provedeno stanovení potřeb tepla sítě, hydraulický návrh a obecný popis problematiky přestavby většího rozsahu z pohledu dopadu na život obyvatel v lokalitě. Dále popisují navazující technologické celky, které je třeba do přestavby zahrnout jako vybudování nové předávací stanice pára-voda ve zdroji tepla, úpravu výměníkůvých stanic u koncových odběratelů, měření a regulaci sítě. Je všeobecně známo, že vodní tepelné sítě jsou v současné době výhodnější než sítě parní. V posledních kapitolách posuzuji tyto výhody a změny toků energií, včetně jejich dopadu na výsledný provoz celé soustavy centrálního zásobování teplem, výrobu elektrické energie a životní prostředí, především z pohledu snížení emisí.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. PETÝREK, J. *The Rebuilding Desing of Distributing Net of Central Heating System Přerov*: Master Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Energy Department, 2012, 111p: Thesis head: doc. Ing. Jiří Míka, CSc.

Proposition for conversion of central heating system steam distrubution it Prerov into hot water distribution network is principal subject of this Master Thesis. Estimation of the overall network heat demands, presentation of hydraulic concept and overall impact of large scale reconstruction project on everyday life of people living on this locality is described. Coherent technological entities which has to be included into the project like building of a new heat exchanger stations at boiler station and reconstruction of existion exchanger stations by end users sites, plus instrumentation and control is explicated in this work. It is well-known fact that hot water distribution networks are more efficient than steam distribution networks. Benefits of hot water distribution networks, energy flow alterations and its influence on overall funktioning of central heat distribution system, elektrikcity generation and environment are assessed with special focus on decrease of air pollution.

Obsah

1. Úvod	10
1.1 Historický vývoj parní tepelné sítě v Přerově	10
1.2 Popis tras stávající parní tepelné sítě	14
2. Parovodní a horkovodní tepelné sítě obecně	17
2.1 Typy tepelných sítí a jejich vzájemné porovnání	18
2.2 Obecná problematika přestavby většího rozsahu	24
2.3 Rozbělení přestavby stávající tepelné sítě Přerov na jednotlivé etapy	26
3. Možnosti přestavby tepelné sítě	29
3.1 Metodika výpočtu hydraulických poměrů nové sítě	29
3.1.1 Použitý výpočtový program	29
3.1.2 Princip fungování výpočtového program	34
3.1.3 Dosazované hodnoty	41
3.2 Balance potřeb tepla	43
3.3 Sestavení modelu pro hydraulický výpočet nové horkovodní tepelné sítě	45
3.4 Stanovení posuzovaných provozních stavů stávající tepelné sítě	47
3.5 Vyhodnocení výsledků hydraulických výpočtů	49
4. Stanovení a posouzení tepelných ztrát sítě	53
4.1 Výpočet tepelných ztrát parního potrubí – metodika výpočtu	54
4.2 Výpočet tepelných ztrát horkovodního potrubí – metodika výpočtu	55
4.3 Stanovení součinitele přestupu tepla mezi proudícím médiem a potrubím	57
4.4 Stanovení tepelného toku potrubí	59
4.5 Stanovení hospodárné tloušťky tepelné izolace předizolovaného potrubí	60
4.6 Výpočet tepelných ztrát – pro tepelnou síť	63
4.7 Výpočet tepelných ztrát – Závěr	66
5. Možnosti přestavby navazujících technologických objektů	66
5.1 Nová předávací stanice pára – voda v areálu teplárny Přerov	66
5.2 Návrh výměníku zdrojové předávací stanice	69
5.3 Přestavba výměníkových stanic na trase nového horkovodu	74
5.4 Měření a regulace nové tepelné sítě	78
5.5 Monitorování průniku vlhkosti do tepelné izolace předizolovaného potrubí	82
6. Čerpací práce nové tepelné sítě	85
7. Balance potřeb energií nové tepelné sítě	89
7.1 Stávající balance tepla z roku 2010	89
7.2 Nové balance tepla po přestavbě na horkovod	94

7.3	Závěr nových bilancí tepla po přestavbě na horkovod	95
8.	Stechiometrický výpočet množství vypuštěných emisí skleníkových plynů	98
8.1	Metodika výpočtu	98
8.2	Přepočet složení paliva	99
8.3	Výpočet množství spalín Proplástku	100
8.4	Výpočet množství spalín Biomasy	103
8.5	Závěr stechiometrického výpočtu	106
9.	Závěr	107
	Seznam tabulek	111
	Seznam obrázků a schémat	112
	Seznam použité literatury	112
	Seznam příloh	114

1. Úvod

Ve svojí profesi projektanta tepelných sítí se často zabývám otázkami optimalizace provozu, úspory tepla a obnovy stávajících zařízení. V současné době se uvažuje o dokončení přestavby parní sítě v Olomouci na horkovodní tepelnou síť. Obecně je známo, že vodní tepelné sítě jsou výhodnější. Jak bude popsáno dále, výhody jejich provozu převažují nad nevýhodami. Do jaké míry se ovšem takováto rozsáhlá přestavba odrazí v bilancích vstupních zdrojů energie, kde se projeví konkrétní úspora, to z výčtu obecných výhod nezjistíme. V roce 2010 jsem aktualizoval studii přestavby stávající parní tepelné sítě v Přerově na horkovodní. Aktualizace spočívala v novém návrhu dimenzí horkovodní tepelné sítě podle aktuálních potřeb tepla, návrhu tlakového diagramu, vyčíslení tepelných ztrát stávající sítě, nového horkovodu po přestavbě a stanovení aktuálních investičních nákladů na samotnou přestavbu. Hlavním cílem diplomové práce, je určit rozsah možných úspor primárního energetického zdroje a ekologický dopad této úspory, především v produkci takzvaných skleníkových plynů.

Samotná přestavba musí být rozdělena do jednotlivých etap, během kterých, musí fungovat v letním i zimním provozu jak parní část sítě, tak horkovodní část sítě. Délky jednotlivých úseků musí být realizovatelné během letního období, kdy jsou odběry tepla nejnižší. Jedná se v naprosté většině o podzemní vedení v neprůlezných kanálech, což vyžaduje značné výkopové práce. Rozsah každé z etap musí umožňovat fungování služeb a dopravy tak, aby obyvatelé města byli ve svém životě po dobu přestavby omezováni co nejméně. Na samotnou výměnu potrubí navazují další technologické celky, jejichž budování musí probíhat současně. Jedná se především o úpravy v samotné teplárně Přerov.

Přestavba tepelné sítě bude mít dopad také na výrobu elektrické energie. Snížením potřeby tepla o rozdíl tepelných ztrát, se sníží množství transformované energie procházejícího soustrojím a poklesne výroba elektrické energie. Naopak stoupne vlastní spotřeba elektrické energie pro pohon oběhových čerpadel a dalšího strojního vybavení nutného k provozu nové horkovodní sítě.

1.1 Historický vývoj parní tepelné sítě v Přerově

Základní historická data a postup rozvoje lokality Přerov byl čerpán z knihy „Moravskoslezské teplárny – 100 let služeb veřejnosti“ uvedené jako použitá literatura [L1] a z knihy „Energetika v Severomoravském kraji“ uvedené jako použitá literatura [L2].

První elektrárna v Přerově byla postavena již v roce 1897 na levém břehu řeky Bečvy. Zásobovala elektřinou samotný Přerov a několik dalších přilehlých obcí. Instalovaný

elektrický výkon elektrárny na začátku činil 130kW. Tento výkon byl však postupně rozšiřován. V roce 1920 byla uvedena do provozu nová elektrárna.

Nová elektrárna byla postavena jako součást plánu soustavné elektrizace Moravy. Tento plán byl iniciován prof. Ing. V. Listem a předložen Moravskému zemskému výboru. Myšlenkou bylo postavit v Přerově velkou elektrárnu schopnou zásobovat elektřinou prostor střední Moravy od Litovle, Šternberka, Uherského Hradiště, Prostějova a Hranic. Plán byl jakousi konkurenční nabídkou německé firmy Siemens Elektrische Betriebe na dodávku elektřiny v „neomezeném množství“. Úřady viděly v nabídce snahu o ovládnutí energetiky na Moravě cizí národností a upevnění pozice německých a rakouských firem.

Město Přerov vyzvalo k uskutečnění záměru české a moravské firmy. Po složitých jednáních měla vážný zájem uskutečnit záměr pouze firma Křižík. K uzavření smlouvy však nedošlo. Psal se totiž rok 1914 a vypukla 1. Světová válka. V roce 1916 se situace opakovala a opět hrozilo proniknutí říšskoněmeckého vlivu a vytvoření elektrizačního monopolu na Moravě a v celém Rakousko Uhersku na dobu 60-ti let. Proti tomuto záměru se postavily české úřady a v roce 1916 zadalo město Přerov výstavbu nové elektrárny.

Původní projekt elektrárny uvažoval v počátcích o třech turbosoustrojích o výkonech 1375 kW, 2000 kW a 3375 kW s roční výrobou 24 TWh elektrické energie. Dále byla možnost rozšířit elektrárnu o další tři turbosoustroje se stejným výkonem. Elektrárna byla uvedena do provozu 8. června 1920. Zařízení elektrárny sestávalo ze dvou roštových kotlů K1 a K2 o výhřevné ploše 200 m². První turbosoustroj TG1 připojené na kotle mělo elektrický výkon 1,72 MVA. V roce 1922 byly uvedeny do provozu další kotle K3 a K4 o výhřevné ploše 350m² a turbosoustrojím TG2 o výkonu 8 MVA. V roce 1927 byla elektrárna rozšířena o kotle K5 a K6 o výhřevné ploše 825 m². Nové kotle zásobovaly párou turboalternátor TG3 o výkonu 9,9 MVA. V roce 1928 postihlo oblast Přerova sucho, které mělo za následek snížení hladiny řeky Bečvy a nedostatek vody pro provoz elektrárny. Z tohoto důvodu se postavila chladicí věž a na řece byl vybudován jez. Vybudování jezu mělo mimo jiné pozitivní vliv na rozšíření vodních sportů v Přerově. V roce 1929 bylo zrealizováno poslední rozšíření elektrárny o kotel K7 o výhřevné ploše 700 m² a dva kotle K8 a K9 o výhřevné ploše 350 m². Nejstarší turbosoustroj TG1 bylo nahrazeno novým zařízením o výkonu 12,6 MVA. Elektrárna měla v době posledního rozšíření instalovaný výkon 30,4 MVA.

V roce 1923 byla na řece Moravě ve Strži u Kroměříže postavena vodní elektrárna o výkonu 1,2 MW elektrické energie. Tato elektrárna měla sloužit jako záloha v případě výpadku elektrárny Přerov jako zdroj energie pro opětovné najetí. Pro potřeby opětovného

uvedení elektrárny do provozu byla dodatečně vybudována i výfuková turbína pro pokrytí vlastní potřeby energie v elektrárně.

V roce 1933 byla uvedena do provozu elektrárna Třebovice a elektrárna Přerov se provozovala pouze jako špičkový zdroj. Do trvalého provozu přešla elektrárna až v době německé okupace za 2. Světové války mezi léty 1938 – 1945. Po skončení války 8. května 1945 byla elektrárna značně poškozena. Provoz se však částečně podařilo obnovit na soustrojí TG4 už 10. května. Soustrojí TG 2 již obnovené nebylo vůbec a soustrojí TG3 bylo uvedeno do provozu na konci roku 1946. V roce 1947 vyvstala potřeba dodávek tepla pro průmysl, proto byla kotelna využita pro zajištění dodávek technologické páry. V roce 1947 byl také vybudován první parovod DN175 v Přerově mezi chemickými závody a elektrárnou v délce 526m.

První studie teplárny Východomoravských elektráren s rozvodem tepla byla zpracována Energoprojektem Brno v roce 1948. V témže roce uvedla do provozu okresní nemocnice vlastní kotelnu schopnou dodávat 13 t/h páry. Z této kotelny byla část tepelného výkonu vyvedena dalším novým parovodem do prostoru nového sídliště Meopta. U tohoto sídliště bylo již uvažováno s ústředním vytápěním.

Zásadní impuls k budování tepelných sítí v Přerově přišel s výstavbou Přerovských strojírén. Z elektrárny byl v roce 1951 vyveden nový hlavní parovod DN400 ve směru do města a parovod DN200 směrem k ulici Velká dlážka. Parovod DN400 byl napojen na parovod DN350 do Přerovských strojírén a parovod DN250 pro pivovar. Dále byl realizován parovod DN150 pro úřady ve Smetanově ulici. Parovod DN200 na ulici Velká dlážka měl být dodatečně prodloužen a přes řeku Bečvu zokruhován na ulici Komenského s hlavní parovodní větví.

Minimální pracovní tlak v parovodu byl volen podle potřeb pivovaru, kde byl požadavek na tlak páry 0,7 MPa abs. Na zdroji byl proto pracovní tlak páry stanoven na 0,8 MPa abs. a později zvýšen na 0,9 MPa abs. což vydrželo do dneška. Parní soustava byla dimenzována na výhledový špičkový průtok páry 70 t/h.

Do roku 1964, kdy byla uvedena do provozu nová teplárna, měla tepelná síť v Přerově délku 14 km. Tato část sítě byla označována jako síť č. 1. Parovod pro chemické závody byl označován jako síť č. 2.

Výroba elektřiny skončila v elektrárně v roce 1967. Ke konci jejího provozu sloužila pouze jako špičkový zdroj. Budova elektrárny stojí na ulici Tržní vedle mostu přes řeku Bečvu dodnes.

Na začátku šedesátých let vyvstala potřeba nové moderní teplárny. Pro umístění teplárny bylo zvoleno místo v centru největších odběrů tepla, mezi chemickými závody a strojírnami, na levém břehu řeky Bečvy. Poloha nové teplárny byla zvolena i s ohledem na plánovanou stavbu Labsko-Oderského průplavu. Studie nové teplárny byla zpracována Energoprojektem Praha již v roce 1959. Po provedení technicko-ekonomických výpočtů a porovnání variant nové teplárny bylo rozhodnuto o stavbě tří kotlů s dodávkou páry 125 t/h. Výrobu elektřiny zajišťovaly dva turbogenerátory. První turbogenerátor měl potlačenou kondensaci a výkon 25MW elektrické energie. Druhý turbogenerátor byl s protitlakem o výkonu 12,5 MW elektrické energie.

Stavba teplárny byla zahájena v listopadu 1960. Provoz na nové teplárně byl zahájen v prosinci roku 1964. V provozu byl jeden kotel a turbogenerátor 25 MW, 3000 ot/min. Parametry kotle byly 125 t/h páry, tlak 0,95 MPa při teplotě přehřátí páry 540°C. Druhý kotel byl uveden do provozu v září roku 1967. Třetí kotel realizován nebyl stejně jako druhé turbosoustrojí. Současně se stavbou teplárny byla zahájena stavba nových tepelných napáječů směrem do města. Především byla posílena dimenze hlavního parovodu z teplárny do města. Nový napáječ DN600 vede v nadzemním vedení podél řeky Bečvy, pod železničním mostem se zaústí pod terén a kanálovým vedením je propojen s původním parovodem na ulici Komenského. Tento parovod má délku cca 1820 m a byl uveden do provozu v roce 1968.

Pro posílení dodávek tepla byly v prostorách bývalé elektrárny v roce 1967 instalovány dva menší kotle přenesené z Košic. Nikdy se však nepoužily a v roce 1979 byly sešrotovány.

Studie a poté i skutečnost však ukázaly, že již v roce 1969 dojde k plnému vytížení kapacity teplárny. Z tohoto důvodu byly vybudovány dva nízkotlaké kotle po 100 t/h páry. První kotel K3 byl uveden do provozu v roce 1978 a druhý kotel K4 až v roce 1991. Před uvedením kotle do provozu byly v elektrárně postaveny dva mazutové kotle 25 t/h páry přenesené z jaderné elektrárny Dukovany. V roce 1990 byl ukončen provoz původních roštových kotlů v elektrárně. Po spuštění kotle K4 do provozu byl zcela odstraněn problém s kapacitou teplárny a bylo možné odstavit z provozu dukovanské mazutové kotle. Současně s ukončením provozu mazutových kotlů přestala v roce 1992 fungovat bývalá elektrárna i jako výtopna.

Pro zlepšení možností vyvedení tepla byl v roce 1991 uveden do provozu nový parovod DN500 ve směru tzv. Mádrův podjezd směrem k sídlišti Šířava. Tím se zlepšily tlakové poměry v prostoru kolem Meopty. Od roku 1993 začala v areálu Teplárny Přerov

probíhat postupná modernizace a generální opravy kotlů K1 a K2 včetně moderních systémů řízení. V roce 1994 byla zahájena výstavba nového soustrojí TG2 o výkonu 41 MW elektrické energie. V roce 1996 byly instalovány tkaninové filtry pro odlučování tuhých částic.

V roce 1996 byla vybudována v suterénu hotelu Strojář velká výměňková stanice s tepelným výkonem 13 MW, která zásobuje Sídliště Předmostí horkou vodou. Toto sídliště bylo do té doby zásobováno z vlastní kotelny na tuhá paliva.

Na závěr lze uvést, že energetika má v Přerově dlouhou tradici a město díky jejímu rozvoji získalo mnoho, například hlavní trať od Ostravy, po které bylo dopravováno palivo. Koncepce sítě centrálního zásobování teplem byla zvolena jako parní z důvodů odběrů páry pro technologii (průmyslová výroba). Dnes zůstává jediným významným odběratelem vyžadujícím páru firma Precheza, a.s. Již v roce 1991 se uvažovalo s výhledovou přestavbou sítě na horkovodní. Díky této úvaze byl parovod ve směru Mádrův podjezd a sídliště Šířava budován s možností přístavby nového potrubí DN500. Tepelná síť je postupně rekonstruována a udržována v provozu s poměrně dobrou spolehlivostí zajištění dodávek tepla, i když se na technickém stavu tepelné sítě a její životnosti se negativně podepsaly povodně v roce 1997.

V roce 2011 byla ukončena hlavní etapa postupné obnovy výměňkových stanic, na níž má zásluhu vlastník většiny výměňkových stanic, společnost Teplo Přerov a.s., která provozuje také většinu sekundárních (teplovodních) tepelných sítí v Přerově.

V současné době je vlastníkem teplárny Přerov a naprosté většiny parních rozvodů společnost Dalkia Česká republika, a.s.

1.2 Popis tras stávající parní tepelné sítě

Tepelný výkon v páře 0,9 MPa abs., je vyveden z teplárny Přerov napáječi označovanými CH1, P1, P2, P3, P4 a P5.

Parovod CH1 DPR- Precheza o dimenzi DN 350/100 a délce cca 510 m je veden nadzemním vedením na vysokých sloupech a potrubních mostech přes řeku Bečvu do areálu Precheza Přerov. Část trasy v místě křížení řeky byla stržena při povodni v roce 1997 a byla znovu vybudována. Odběratel Precheza je svým způsobem provozu specifický, v jednom dnu může odebírat páru v rozsahu 0 – 17 t/h a také může páru do sítě naopak dodávat. Posuzovanou parní síť však ovlivňuje minimálně, neboť odbočka pro

Prechezu je vysazena ve zdroji tepla z rozdělovače (za rozdělovačem směrem do města tlakové a poměry v síti neovlivňuje).

Parovod P1 DPŘ – Meopta o dimenzi DN 600/200 vychází z DPŘ na vysokých sloupech směrem k řece Bečvě a po levém břehu pokračuje pozemním vedením na nízkých patkách, až k železničnímu mostu na trati Přerov-Bohumín. Zde vstupuje do podzemního vedení, prochází podchodem pod železniční tratí a pokračuje dále dimenzí DN 600/200 v podzemním vedení v neprůlezném kanále kolem firmy Kazeto a obchodního domu TESCO směrem do ulice Komenského až do šachty Š16. V části úseku na ulici Komenského byla v roce 2010 provedena rekonstrukce a zredukování potrubí na DN400. Dále pokračuje parovod P1 dimenzí DN 500/200 směrem na náměstí Přerovského povstání (zde je veden v průchozím kanále) a dále pokračuje v neprůlezném kanále ulicí Šířava a Svisle, kde je v šachtě Š26 propojen s parovodem P4. Dále parovod DN 500/200 pokračuje ulicí R. Stokláskové, kříží ulici Bratří Hovorkových a sídlištěm pokračuje k ulici Želátovská. Zde se rozděluje parovod na dvě větve směrem do ulice Želátovská a směrem do ulice Dvořákova. Hlavní větev pokračuje v podzemním vedení ulicí Želátovská dimenzí DN 400/150 až na křižovatku s třídou Gen. Janouška a dále pokračuje ulicí Optiky až na ulici Kabelíkova, lomí se k ulici Dvořákova (propojení s větví vedoucí po ulici Dvořákova) a pokračuje ulicí Dvořákova až do místa vstupu do areálu firmy Meopta Přerov. Část trasy mezi firmou Kazeto a ulicí Komenského v délce trasy 160 m byla v roce 2004 přeložena do nové trasy v souvislosti s výstavbou hypermarketu TESCO.

Parovod P2 DPŘ – Velké Novosady – Tržní. Parovod DN 350/200 vystupuje z DPŘ na vysokých sloupech, kříží ulici Tovačovská a vede do areálu Přerovských strojíren. Zde sestupuje do podzemního vedení v neprůlezném kanále a vede podél oplocení PS směrem k městu, kříží železniční vlečku do Prechezy, kříží ulici Tovačovská a pokračuje v podzemním vedení směrem k řece Bečvě. Dále pokračuje pozemním vedením v souběhu s parovodem P1 až do šachty Š4, kde se propojuje s parovodem P1. Za železničním mostem v šachtě Š6 se znovu parovod P2 o dimenzi DN 350/200 odpojuje od parovodu P1 a pokračuje v podzemním vedení po levém břehu až k silničnímu mostu Legií přes řeku Bečvu do šachty Š112. Zde se rozděluje na dvě větve o dimenzi DN 400/200. Jedna větev vede přes řeku po mostě Legií do prostoru bývalé výtopy Přerov na Tržní ulici. Druhá větev parovodu P2 o dimenzi DN 400/200 vede od šachty Š112 podél ulice Velké Novosady směrem k ulici Kojetínská, kde se v šachtě Š11 propojuje s parovodem P1.

Parovod P3 VPŘ – Kopaniny. Parovod P3 o dimenzi DN 350/250 vychází z prostoru bývalé Výtopy Přerov přes ulici Tržní do dvorních traktů obytných domů na ulici

Fügenerova až do ulice Mervartova a dimenzí DN 200/100 pokračuje po nábřeží Dr. E. Beneše až k mostu Míru, kde se propojuje s parovodem DN 350/150, který vede po ulici Palackého a tvoří propojení mezi parovodem P1 a P3. Křížení ulice Velká dlážka je provedeno v podchodu dimenzí DN 400/150. V šachtě Š207 odbočuje větev DN 200/100 směrem do sídliště Velká dlážka. Parovod DN 300/125 pokračuje směrem k sokolovně ulicí Brabansko, Za mlýnem až k ulici Kopaniny, kde končí v PVS 666. Od PVS 666 pokračuje parovod dimenzí DN 150/100 směrem k sídlišti Osmek a dále dimenzí DN 125/65 až do Střední zemědělské školy. Tento odběratel byl hydraulicky nejvzdálenější odběr na parní síti. Parovodní přípojka DN 125/65 pro SZeŠ byla realizována v roce 1992 předizolovaným potrubím a je ve velmi špatném technickém stavu, neboť do izolace proniká voda a dochází ke korozi potrubí. V roce 2011 byl odběratel připojen na teplovodní síť. V práci se vyskytuje, neboť bylo čerpáno z bilancí z roku 2010.

Parovod P4 DPŘ – Svisle. Jedná se o parovod o dimenzi DN 500/300 v délce trasy 2 932 m. Tento parovod byl uveden do provozu v roce 1988 k vyvedení tepelného výkonu v páře do nejvzdálenějších oblastí města (Meopta, nemocnice), kde byl v minulosti často nedostatek tlaku páry ve výměníkových stanicích. Pára je vedena po pravé straně ve směru dodávky tepla. Parní potrubí DN 500 parovodu P4 bylo uvažováno ve výhledu použít jako přívodní (topné) potrubí horkovodní sítě. Počáteční část trasy ze zdroje tepla až před železniční trať ČD Přerov – Břeclav v délce trasy cca 1 440 m je vedena jako nadzemní vedení na vysokých sloupech a potrubních mostech. Tepelná izolace parního potrubí DN 500 v nadzemním vedení má tloušťku 240 mm, kondenzátní potrubí DN 300 má tl. 80 mm. Potrubní mosty v areálu Přerovských strojíren jsou navrženy pro umístění třetího potrubí DN 500 s tloušťkou tepelné izolace 120 mm. Zbývající část trasy je vedena pod terénem ve společném neprůlezném kanále světlosti 2 200 x 1 200 mm nebo v neprůlezném dvojkanále světlosti 1 500 x 1 200 mm + 700 x 700 mm. Parní potrubí DN 500 má v podzemním vedení tepelnou izolaci o tloušťce 180 mm, kondenzátní potrubí DN 300 je bez tepelné izolace. Pod železniční tratí ČD je parovod uložen ve štole o vnitřním průměru 3 200 mm, délka štol je cca 155 m. Křížení ulice Tovární a Generála Štefánika je provedeno ve dvou chráničkách o vnitřním průměru 1 200 mm. Křížení ulice 9. května a ulice Ztracená je provedeno v betonových rámech světlosti 3 000 x 2 000 mm (tzv. Benešovy rámy).

Parovod P5 DPŘ – Rychlový krm. Parovod o dimenzi DN 200/100 a dále DN 125/50 vede ze zdroje tepla podél ulice Tovačovská směrem k obci Henčlov. Parovod je částečně nadzemní, vedení na sloupech a mostech, v koncové části v podzemním vedení.

Propojení parovodu P1 – P3 Propojovací parovod DN 350/150 je veden v neprůlezném kanále ulicí Palackého ze šachty Š17 na ulici Komenského do šachty Š206 na nábřeží Dr. E. Beneše. Parovod byl opravován v roce 1985 a je v dobrém stavu. Byl zaplaven při povodni v roce 1997.

Parovod pro ZZN. Parovod DN 200/100 navazuje na parovod P3 v ulici Tržní. Parovod vede podél ulice Tržní a Polní kolem prodejny Baumax do areálu ZZN. První část parovodu od místa napojení po odbočku pro odběratele 024 Obchod obuvi-sklad byla vybudována v roce 2006 (přeložka parovodu v rámci výstavby nového mostu přes Bečvu a navazující komunikace). Druhá část parovodu byla realizována v roce 2003. Jedná se tedy o nový parovod, kde parní potrubí je umístěno v neprůlezném kanále a pro kondenzátní potrubí je použito předizolované potrubí se zesílenou stěnou trubky.

Stávající horkovodní síť. Do areálu bývalých Přerovských strojírén je vyveden stávající horkovod v předizolovaném provedení, který je připojen na výměňkovou stanici situovanou v areálu Teplárny Přerov.

Dále je vybudována horkovodní síť směrem do lokality Předmostí. Tento horkovod je zásobován teplem z výměňkové stanice VST Strojař. Tato výměňková stanice má instalovaný výkon 17MW. Po provedení přestavby na horkovodní síť bude možné tuto stanici zrušit a lokalitu připojit přímo na nový horkovod z Teplárny Přerov.

2. Parovodní a horkovodní tepelné sítě obecně

Vzhledem k současnému trendu snižování potřeb tepla, které je způsobeno především realizací programu na snížení tepelných ztrát vytápěných objektů (výměna oken, zateplení obvodových plášťů budov, osazení regulačních armatur na topná tělesa), kde úspory v potřebách tepla dosahují až 30%. Dále došlo k odpojení některých odběratelů tepla od parní sítě, slučování menších výměňkových stanic a přechodu na moderní úsporné systémy na sekundární (teplovodní) straně tepelné sítě (mezi primární výměňkovou stanicí a koncovým odběratelem).

Vzhledem k těmto skutečnostem se jeví přestavba parní sítě na horkovodní jako výhodná.

Centralizovaná síť je napájena z jednoho zdroje tepla. Využívání SCZT je výhodné jak pro průmysl, kterému dodává do provozů technologické teplo a technologickou páru, tak i pro město a jeho obyvatele, kteří získávají poměrně výhodnou energii na vytápění a přípravu teplé užitkové vody. SCZT působí pozitivně na životní prostředí tím, že snižuje

počet lokálních kotelen na pevná paliva a zvyšuje komfort obyvatel. Zároveň lze zařízení tepláren optimalizovat ke zvýšení efektivity spalování, účinností jednotlivých zařízení k přípravě dodávek tepla (výměníky tepla, čerpadla, kvalita přenosového média páry či vody). Současně minimalizuje náklady na provoz výrobou elektřiny, kterou dodává do elektrické sítě. Společná výroba tepla a elektrické energie se nazývá kogenerací a dokáže ušetřit až 35% paliva.

Československo zaznamenalo největší rozmach budování těchto sítí v padesátých a šedesátých letech, kdy velká část okresních a průmyslových měst vybudovala vlastní centralizovanou síť zásobování teplem.

V současnosti tyto původní sítě dožívají a probíhají postupné rekonstrukce, výměny izolací a opravy železobetonových kanálů. S rozvojem technologií a nových výrobků na trhu se objevily různé systémy v České Republice. Mezi takovéto pokusy je možné zařadit systém LEBIT, který se dnes již prakticky nepoužívá, naopak předizolovaný spojitý systém se velmi osvědčil.

2.1 Typy tepelných sítí a jejich vzájemné porovnání

Rozdělení sítí:

Centralizované sítě zásobování teplem se dělí dle dopravovaného topného média na:

- Parovodní
- Horkovodní

Dle parametrů sítě na:

- Primární
- Sekundární

V době budování většiny centralizovaných tepelných sítí byly zcela jiné výhledy a potřeby než jsou v současné době. Sítě byly budovány podle toho, jaký druh průmyslu se nacházel v blízkosti zásobované lokality. Tento trend probíhal do počátku osmdesátých let, kdy se ukázalo, že takovéto budování není příliš ekonomicky vhodné a začaly se posuzovat výhody a nevýhody jednotlivých druhů centralizovaných tepelných sítí. Výhody a nevýhody centralizovaných tepelných sítí jsou čerpány z literatury [L3, L4].

Oproti parovodním sítím mají horkovody následující výhody:

- Příprava horké vody teplárenským způsobem umožňuje větší výrobu elektrické energie
- Vodní tepelná síť má nižší tepelné ztráty
- Umožňuje připojení odběratelů tlakově závislým způsobem (nižší náklady, vysoká účinnost)
- Umožňuje kvalitnější regulaci dodávky tepla
- Nižší provozní náklady
- Delší životnost potrubí (zejména oproti potrubí kondenzátnímu)
- Umožňuje akumulaci tepla (prakticky se využívá minimálně)

Nevýhody horkovodních sítí oproti parovodním

- Investičně náročnější výměňková a oběhová stanice ve zdroji tepla
- Nutné čerpací práce na cirkulaci teponosného média
- Nutnost vypouštění obsahu potrubí (problematické ve městech při rychlých opravách)

V praxi se rozhoduje o možnostech rozšiřování parovodních tepelných sítí či přestavbě na horkovodní tepelné sítě zejména z hlediska ekonomických. Náklady na přestavbu se musí v době, životnosti potrubí vrátit. Zařízení umístěné pod zemí či nad zemí je vystavováno vnějším vlivům, poruchám, korozi, občasnému zaplavování kanálů a nepředvídatelným vlivům, krádežím na zařízení, živelním pohromám. Proto snižování provozních nákladů je velmi výhodné jak pro provozovatele (může použít více prostředků na opravy a rozšiřování) tak pro odběratele, kteří tím získávají nižší ceny za dodanou energii. Informace pro stanovení kritérií porovnání jednotlivých druhů SCZT vycházejí z literatury [L3].

Srovnání je provedeno pomocí tří základních parametrů pro posouzení ekonomické výhodnosti horkovodní sítě před parní sítí. Uvedené skutečnosti jsou všeobecně známy.

- a) Posouzení z hlediska přenosových kapacit
 - Horkovodní potrubí se jeví jako nejvýhodnější.
- b) Posouzení z hlediska tepelných ztrát
 - nejlepší horkovod v předizolovaném provedení. Díky použití kvalitní PUR pěny jsou tepelné ztráty cca 4%
- c) Posouzení z hlediska investičních nákladů na vybudování sítě

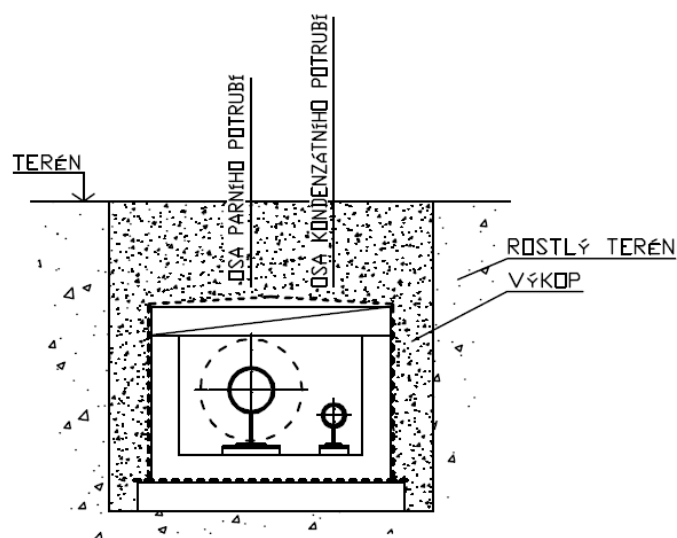
– díky úspoře nákladů ve stavební části jsou nejnižší investiční náklady na předizolované potrubí. Především není třeba budovat železobetonový žlab.

Příklad uspořádání parovodního potrubí v podzemním vedení

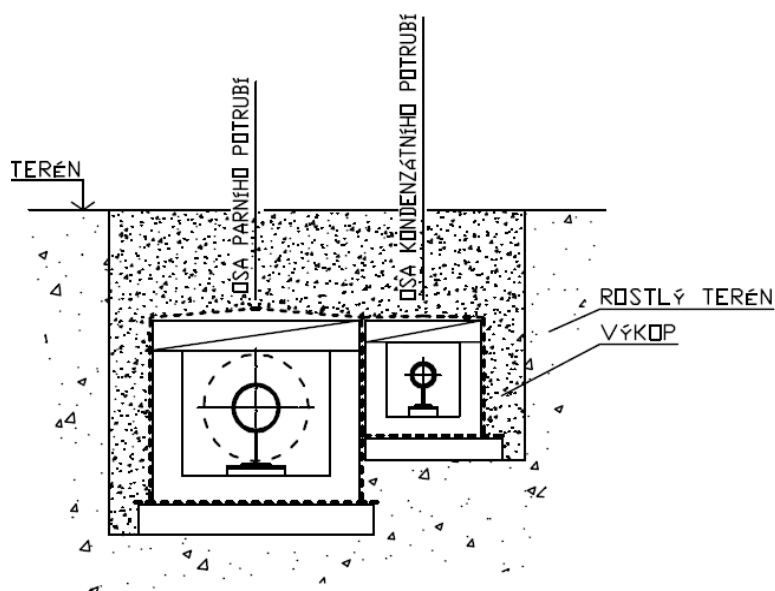
Variant řešení uspořádání parovodů je mnoho, v minulosti bylo oblíbené řešení zalití parního kanálu pěnobetonem, při provozování potrubí na vysoké teploty (okolo 220°C) je pěnobeton optimální tepelná izolace, historicky je však už překonán. Parní potrubí má životnost kolem 40let. Jsou však známy případy, kdy parní trubka byla v provozu i 60 let a stále se neprojevovala koroze. Problematické je kondenzátní potrubí. Parní kondenzát (především ze soustav se stanicemi s otevřeným parokondenzátním okruhem) je velmi agresivní médium a životnost kondenzátního potrubí je proto pouze cca 10 let. V současnosti některé provozy používají kondenzátní potrubí z materiálu PP-H 100 (polypropylen). Tento způsob však není dlouhodobě prověřen. Jiným způsobem provedení kondenzátního potrubí je systém, kdy se do výkopu vedle parního kanálu volně položí do pískového lože plastová trubka z materiálu PEX. Tato trubka se dodává ve svitcích o délce dle dimenze 50 – 120 m. Při použití tohoto systému odpadají problémy se spojováním plastového potrubí. Odbočky se řeší lisovaným přechodem na nerezový „T“ kus, který se následně potáhne smršťovací plastovou páskou.

Z hlediska tepelných ztrát je výhodnější uspořádání parní trubky v kanále společně s kondenzátním potrubím. Kondenzátní potrubí se obvykle neizoluje a vyhřívá kanál na přibližně 60°C což snižuje tepelné ztráty parního potrubí.

V případě uspořádání parního kanálu odděleně od kondenzátního je výhoda v otevření kondenzátního kanálu bez porušení vnějších hydroizolací na parním kanále a tím úspora nákladů při případné opravě kondenzátu. Toto je však nutné posuzovat individuálně dle dané lokality, například v případě občasného zaplavení kanálu je tepelná izolace na parním potrubí silně narušená, nasáklou vodou ztěžkne, prověsí se a nadále už nemá požadované tepelně-izolační vlastnosti. Tepelná izolace v kanále, se časem sama na rozdíl od předizolovaných systémů (spojitých i kluzných) vysuší, ale narušení struktury izolace je nevratné a stává se, že při opakování stavu celá izolace z potrubí odpadne. Při výměně kondenzátního potrubí ve společném kanále se špatná kvalita izolace, případně i povrchová koroze potrubí snadněji odhalí. Potom je jednodušší ji odstranit, provést nátěry potrubí a namontovat novou izolaci s vyztužením.



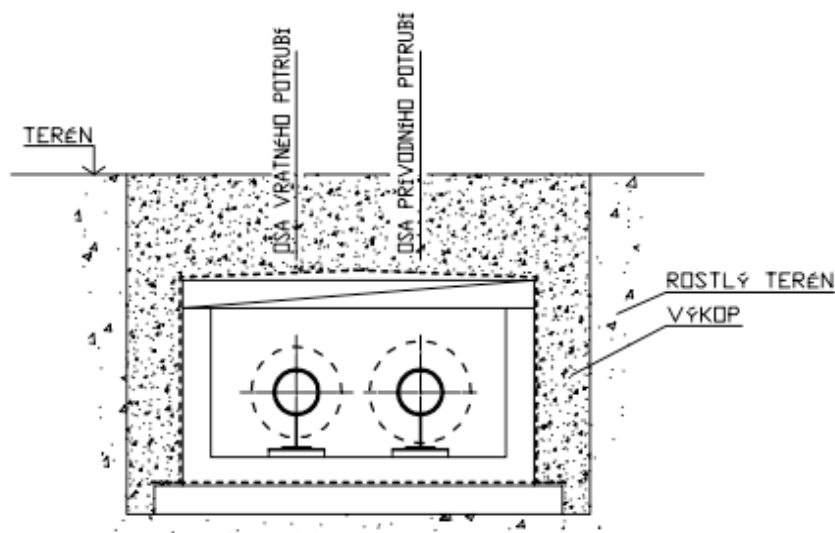
Obrázek č. 2.1 Parovod s parním i kondenzátním potrubím ve společném kanále.



Obrázek č. 2.2 Parovod s vlastním parním a kondenzátním kanálem.

Příklad uspořádání horkovodního potrubí v podzemním vedení – klasické kanálové vedení

Takový způsob vedení horkovodu je léty provozu ověřený a spolehlivý. Zvláště v poslední době se provozování horkovodní tepelné sítě stává levnější a výhodnější než provozování parní sítě SCZT. Horkovodní sítě však nejsou vhodné pro všechny typy průmyslových provozů, některé vyžadují pro svou technologii výroby médium o vyšší teplotě. Zatím co z páry je možné připravovat horkou vodu poměrně snadno tlakově nezávislou výměňkovou stanicí, pro přeměnu horké vody o teplotě cca 160°C (provozní teplota klasických SCZT) v páru je nutné instalovat pro příslušný podnik nepoměrně větší a nákladnější zařízení (vyvíječ páry).

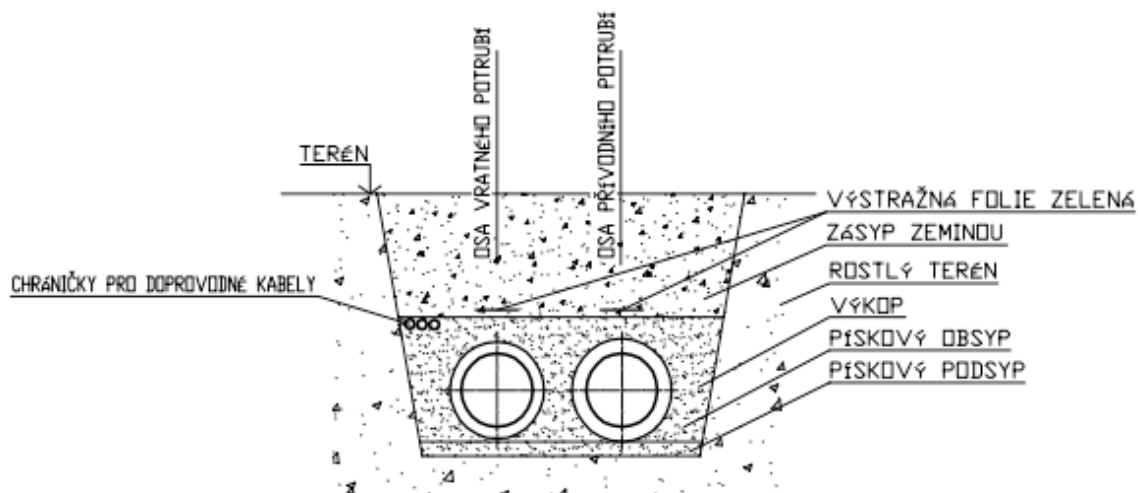


Obrázek č. 2.3 Klasické uspořádání horkovodního potrubí v kanále.

Nepsané pravidlo u horkovodů říká, že přívodní potrubí musí být vpravo ve směru dodávky tepla. Životnost horkovodního potrubí je s ohledem na způsob provozování cca 40 let.

Příklad uspořádání horkovodního potrubí v podzemním vedení – moderní předizolované vedení

Předizolované potrubní rozvody jsou moderní technologií v bezkanálovém vedení. Ocelová mediová trubka je nasunuta do plášťové trubky z materiálu HDPE (tvrzený polyetylen) a vzniklé mezikruží vyplněno izolační polyuretanovou pěnou jako tepelná izolace. Tento celek dodává výrobce jako hotové komponenty. Mediová trubka se spojí svařem a izolace se dokončí vypěněnou přesuvnou spojkou, tím vznikne jednolitý hermetický spoj. Technologie omezuje čas potřebný pro realizaci přípojky na nutné minimum díky ukládání smontovaného potrubí přímo do pískového lože a současně minimalizuje množství tepelných ztrát na trase přípojky. Tepelná izolace potrubí je citlivá na průnik vlhkosti do izolace potrubí, proto jsou do izolace umístěny kontrolní vodiče „alarmsystému“ pro sledování výskytu vlhkosti v izolaci potrubí.



Obrázek č. 2.4 Uspořádání bezkanálového spojitého horkovodního potrubí.

Horkovodní spojitý systém je možné provozovat pouze do teploty 145°C, krátkodobě až do teploty 160°C. Předizolované potrubí se ukládá jako celek do pískového lože, kde plášťová trubka a PUR pěna tepelně dilatuje spolu s ocelovou trubkou. Kompenzace využívá přirozených kompenzačních útvarů (kompenzátory tvaru „L“, „U“ a „Z“). Tyto kompenzační útvary je nutné navrhovat v maximálních vzdálenostech od sebe, které se označují obecně jako dovolené třecí délky. Jestliže není možné provést kompenzaci přirozenou, lze potrubí tepelně předepnout pomocí nahřátí ve výkopu, nebo použít v trase takzvané jednočinné kompenzátory, které se po nastavení předpětí svaří a napříště se chovají jako rovná trubka.

Pro vyšší teploty média se v praxi používají spíše klasické kanálové rozvody, existují však i alternativy. Kluzný systém předizolovaného potrubí je možné v různých provedeních používat v rozsahu teplot 145 – 220°C. Skládá se z vnitřní ocelové trubky s vrstvou čedičové vlny, která snižuje teplotu bezprostředně kolem potrubí pod úroveň, jež je pro PUR pěnu běžná. Potrubí netvoří pevný celek a není možné potrubí kompenzovat přirozeně. Ocelová trubka dilatuje samostatně ve vrstvě čedičové vlny, zatím co plášťová trubka je pevně držena zeminou. Proto se u kluzných systémů používá systém pevných bodů s osovou kompenzací. Pevné body jsou realizovány jako betonové bloky zasypány zhutněnou zeminou. Bezprostředně za pevným bodem je umístěn osový kompenzátor ve vlnovcovém nebo ucpávkovém provedení. Aby byla zajištěna osa potrubí proti pohybu do strany, jsou na potrubí instalovány betonové vodící bloky.

Kluzný systém je možné použít jak u horkovodního potrubí tak jako parovodní potrubí, avšak doporučuje se pouze u relativně krátkých úseků. Dlouhodobé zkušenosti

s tímto systémem ukazují jeho nízkou spolehlivost a citlivost na dodržení technologické kázně při montáži.

V poslední době se v České republice začíná uplatňovat předizolované potrubí v provedení twins. U tohoto provedení je přívodní i vratná trubka umístěna v jednom plášti většího průměru a potrubí je zalito PUR pěnou. Výhodou tohoto uspořádání jsou nízké tepelné ztráty (srovnatelné s izolační třídou 3 běžného předizolovaného potrubí) a nízké investiční náklady (především úspora výkopových prací). Nevýhodou naproti tomu mohou být vyšší požadavky na kvalitu montážních prací a vyšší požadavky na správný konstrukční návrh. Běžně je možné předizolované potrubí twins dodávat v dimenzi do DN100. Na zakázku je možné vyrobit potrubí o dimenzi až DN300. Produkce předizolovaného potrubí je v ČR v běžném provedení přibližně 90% a v provedení twins 10%. Ovšem v některých severských státech, kde je systém centrálního zásobování teplem a hospodaření s energiemi na vyšší úrovni se pohybuje produkce potrubí v běžném provedení přibližně 50% a v provedení twins 50%.

2.2 Obecná problematika přestavby většího rozsahu

Tempo přestavby je závislé na investičních prostředcích, kapacitě dodavatele, složitosti rekonstrukce tepelných sítí, projekční připravenosti, ochotě orgánů státní správy a ochotě provozovatelů přímo navazujících technologických celků.

Investiční náročnost a složitost rekonstrukce

Jak ukázaly zkušenosti z přestavby parní sítě v Olomouci, není žádoucí snaha o využití stávajícího zařízení v co největším rozsahu a tím pádem snaha o maximální možné snížení investičních nákladů během vlastní přestavby. Jedná se především o další využívání stávajícího parního potrubí jako vratného potrubí horkovodu. Jestliže jsou v dané lokalitě jednou během přestavby provedeny výkopy třeba vyměnit veškeré stávající zařízení. Parní potrubí je navrženo v konfiguraci, která vyhovovala dopravě tepla v páře. Konverzí na horkovod vyvstane řada problémů technického rázu. Především vedení potrubí přes stávající šachty, jejichž rozměry nevyhovují pro vedení páteřních rozvodů, napojení odboček, snaha o vedení přívodního potrubí po pravé straně ve směru dodávky tepla (obecně respektovaná zvyklost). Po přestavbě parní sítě v Olomouci na horkovod se v průběhu let objevily provozní komplikace, se kterými se při návrhu nepočítalo. Především životnost původního potrubí se rapidně snížila. Podstatná část původních

parních rozvodů byla totiž realizována s tepelnou izolací pěnobetonem (železobetonový žlab se s potrubím zalil tepelně izolační hmotou). Tato hmota se však postupně vytrácela a dnes se při otevření žlabu ukazuje, že trubka je z části obnažená. Dále se ukázalo, že dokud bylo v původní trubce médium o vysoké teplotě, vlhkost z izolace se odpařovala a trubka byla na povrchu v suchém prostředí. -Po snížení teploty média se vlhkost přestala odpařovat a na potrubí se projevuje koroze a časté poruchy. Zatím co přírodní potrubí je technicky v pořádku, vratné potrubí (bývalý parovod) musí být vykopán a nahrazen novým předizolovaným potrubím. Náklady na tuto opravu nesouvisí přímo s přestavbou, ale bylo možné jim předejít a částečně je omezit. Z tohoto důvodu je v diplomové práci uvažováno s kompletní demontáží stávajícího potrubí, včetně stavebních konstrukcí, demolicí šachtic a zachování pouze průchozích kanálů (podchodů pod komunikacemi). Do vzniklé rýhy by mělo být umístěno nové přírodní i vratné předizolované potrubí. Součástí předizolovaného potrubí budou stavební objekty pro obsluhu technologického zařízení (jednoduché šachtice). Křížení se stávajícími inženýrskými sítěmi je vyřešeno, protože bude držena hloubka stávajících parovodů. V úsecích kde bylo parní potrubí značně hluboko a kde by nemělo dojít ke kolizi se stávajícími inženýrskými sítěmi, doporučujeme potrubí umístit do menší hloubky. Během přestavby musí být k dispozici nový zdroj tepla v horké vodě a oběhová stanice. Dále musí být budována komunikační datová síť pro řízení soustavy a systém detekce průniku vlhkosti do tepelné izolace předizolovaného potrubí. Součástí přestavby potrubní sítě musí být provedena přestavba tlakově nezávislých výměňkových stanic pára-voda na systém voda-voda (většinou v majetku společnosti Teplo Přerov, a.s.). Navazující technologické celky jsou podrobněji popsány v kapitole č.5.

Projekční připravenost a další důvody etapizace přestavby

Pod pojmem projekční připravenost rozumíme zpracování projektové dokumentace stavby samotné s maximální možnou péčí odborné firmy. Dále je třeba věnovat zvýšenou pozornost zajištění organizace výstavby. Značná část tras vede v komunikacích a chodnících. Stavební práce způsobí zhoršení hygienických podmínek v jednotlivých lokalitách, především zvýšeným hlukem a prašností. Zhoršení hygienických podmínek se dá omezit volbou vhodné stavební techniky, postupnou výstavbou a co nejrychlejší montáží. Zajištění organizace výstavby spočívá v návrhu staveništního pásu kolem navrhované trasy, určuje počet a umístění přemostění narušených komunikací tak, aby se obyvatelé lokalit mohli volně a bezpečně pohybovat kolem stavby. Po ukončení stavebně montážních prací musí realizátor stavby uvést veškeré narušené povrchy (komunikace,

chodníky a zelené plochy) do původního stavu. Během realizace takovéto rozsáhlé stavby je třeba, aby příslušné úřady a orgány státní moci spolupracovali se stavebníkem.

2.3 Rozdělení přestavby stávající tepelné sítě Přerov na jednotlivé etapy

Rozdělení přestavby tepelné sítě je třeba nejen z důvodů kapacitních, ale také časových jak bylo popsáno výše. Mezi jednotlivými etapami přestavby musí být zajištěno fungování parní sítě, tak horkovodní sítě. Na trase se v jednotlivých koncových lokalitách nachází hydraulicky nejvzdálenější body. Přestavba v jednotlivých etapách by měla směřovat právě do těchto bodů.

Rozdělení na jednotlivé etapy je voleno s ohledem na výše popsané.

Etapa č. 1.1 – Přestavba parovodu P4, větev v ulici Šířava až po VS 659 a okruhu kolem ulic Želátovská, Kabelíkova a Dvořákova na horkovod. Rozsah etapy je uveden v příloze č. 1.

Etapa č. 1.2 – Přestavba parovodní větve od ulice Šířava až k ulici Komenského. Rozsah etapy je uveden v příloze č. 2.

Etapa č. 2 – Přestavba parovodu DN600/200 na horkovod, křížení Bečvy, napojit se na stávající parovod za mostem Legií, přestavba větve k ZZN a přestavba celého parovodu P3 na horkovod včetně přímého propojení s horkovodní větví směrem do sídliště Předmostí. Rozsah etapy je uveden v příloze č. 3.

Etapa č. 3 – Přestavba zbývajících částí parovodu P1, P2, větve směrem k Nádraží a propojení parovodu P1 a P3. Rozsah etapy je uveden v příloze č. 4.

Etapa 1.1

Přestavba stávající parní sítě na horkovod bude zahájena přestavbou parovodu P4 na horkovod. Etapa 1 bude rozdělena na další dvě pod-etapy 1-1 a 1-2.

Pod-etapa 1-1 počítá s úpravou provozního zařízení na nadzemní části parovodu a posílení dimenze horkovodu P4 na DN500/500. Na stávajícím parovodu dojde k osazení nového odvodu a úpravě z odvodu na vypouštění. Stávající potrubní most a vysoké sloupy jsou dimenzovány dostatečně a konstruovány tak, aby nyní bylo možné přistavět třetí potrubí DN500 (nový vrat). Stávající úsek nadzemního vedení DN500/300 na kvybných stojkách bude nutné v dalších stupních projektové dokumentace posoudit

z hlediska únosnosti přetíženého potrubí (přívodní potrubí zatížené obsahem vody). Dále bude v tomto úseku nutné přistavět potrubí DN500 jako vrat. V místě vstupu potrubí pod terén bude potrubí vedeno v předizolovaném provedení. Navrhované dimenze potrubí jsou patrné z výpočtového schématu horkovodní sítě viz. příloha č. 5. Zbývající trasy nového horkovodního potrubí dodržují v maximální možné míře trasy původních parovodů.

Současně s přestavěnou částí horkovodního potrubí bude v provozu zbývající část parovodní sítě. Vzhledem ke skutečnosti, že v nejchladnějším období roku je nutné zapojit do zásobování města parovod P4 musí být v první části přestavěna taková část potrubí, aby byla zajištěna dodávka tepla jak parovodem, tak horkovodem. Při návrhu etapy 1-1 bylo třeba sledovat rychlosti proudění v úsecích se sníženou dimenzí potrubí. Hlavním takovým místem je část zrekonstruovaného parovodu DN400/200 pod ulicí Komenského. Rozsah etapy 1-1 byl volen s ohledem na rychlost proudění v tomto úseku.

Etapa 1.2

V rámci pod-etapy 1-2 je uvažováno s rozšířením horkovodní tepelné sítě až k ulici Komenského do místa kde z trasy parovodu P1 odbočuje propojovací potrubí parovodů P1-P3. Pod-etapa 1-2 uvažuje také s připojením VS643 Wurmova 7.

Pod-etapa také počítá s přestavbou stávající parovodní větve DN125/50 směrem k VS 027 Framagro a 028 Rychlovýkrm na horkovod v předizolovaném provedení 2xDN50.

V rámci etapy dojde k odpojení odběratelů od parní sítě v oblasti kolem Třídy 17. Listopadu až po ulici Komenského.

Etapa 2

V rámci etapy 2 je uvažováno s nahrazením části stávajícího parovodu P1 DN600/200 v nadzemním vedení kolem řeky Bečvy. Stávající parovod bude demontován a nahrazen horkovodem 2xDN500 v klasickém provedení s montovanou tepelnou izolací. Na úrovni stávajících pilířů po bývalém jezu se potrubí 2xDN500 rozdělí. Potrubí 2xDN500 bude za odbočkou zredukováno, osazeno sekční armaturou a zaslepeno. Směrem k pilířům bude odbočovat horkovod 2xDN400. Na původní pilíře bude osazena nová ocelová konstrukce a nový potrubní most (profil cca 2,8m x 2,8m) s obslužnou lávkou uprostřed. Za potrubním mostem se potrubí v nadzemním provedení přiblíží k příjezdní komunikaci do areálu firmy Precheza.

V blízkosti této komunikace vstoupí potrubí 2xDN400 pod zem do předizolovaného provedení a pokračuje v souběhu s komunikací směrem k železničnímu mostu. Projde

v zemi pod železničním mostem mezi stávajícím pilířem a komunikací. Vzhledem ke stáří stávajícího železničního mostu je pravděpodobné, že bude v dohledné době realizována jeho rekonstrukce. Při této případné rekonstrukci musí být zachován průchod pro potrubí, případně osadit chráničky pro potrubí. Za železničním mostem před řadou stromů překříží horkovod komunikaci a bude pokračovat v chodníku až k ulici Tržní, kde se dostane do trasy stávajícího parovodu. Nový horkovod bude dále respektovat trasu stávajícího parovodu.

Nové horkovodní potrubí se v místě VS 331 Strojař napojí na stávající horkovodní síť směrem do lokality Předmostí, která je již v provozu a která byla realizována moderní technologií předizolovaného potrubí.

V rámci etapy 2 dojde ke zrušení části parovodu P1 směrem ze zdroje tepla k podchodu pod železničním mostem. Veškeré zbývající dodávky tepla budou vedeny parovodem P2 DN350/200 přes areál Strojíren, ulicí Komenského a propojením parovodů P1 a P3 přes ulici Palackého.

Etapa 3

Etapa 3 řeší přestavbu zbývající části parní sítě na horkovodní. Jedná se o Parovod P2 ze zdroje tepla DPŘ, napojení na horkovod 2xDN500 vybudovaný v rámci etapy 2. Dále pokračuje horkovod v trase 2xDN400 v předizolovaném provedení pod železničním mostem (stávajícím průchodem) až k odbočce pro větev směrem k nádraží. Za touto odbočkou se potrubí redukuje na 2xDN300 a pokračuje stávající trasou parovodu v zeleni podél Bečvy směrem k ulici Velké Novosady. Zde se potrubí lomí směrem podél ulice v trase propojení mezi parovody P1 a P2 až k ulici Komenského, kde horkovod pokračuje přímo v dimenzi 2xDN300 k odbočce pro Pivovar (výhledová rezerva cca 5MW). Za odbočkou pro pivovar se potrubí redukuje na 2xDN250. V této dimenzi se potrubí napojí na potrubí 2xDN300 vybudované v rámci Etapy 1. Horkovod budovaný v rámci etapy 3 zahrnuje také nahrazení stávajícího parovodního propojení DN350/150 mezi parovody P1 a P3 na ulici Palackého a mostem Míru za horkovod 2xDN200.

Etapu č.3 je možné provádět postupně. Zokruhováním tepelné sítě přes ulici Palackého a Mostem Míru je možné zajistit dostatečné dodávky tepla tak, aby přestavba byla prováděna od zadu a postupně se zkracovala parní síť. Tepelné napáječe vybudované v rámci etapy č.1 a etapy č.2 mají dostatečnou přenosovou kapacitu pro pokrytí dodávek tepla.

3. Možnosti přestavby tepelné sítě

3.1 Metodika výpočtu hydraulických poměrů nové sítě

Na základě získaných podkladů bylo zpracováno pravoúhlé výpočtové schéma stávající tepelné sítě Přerov, ve kterém jsou uvedeny rozhodující informace pro provedení výpočtů hydraulických poměrů. Uzlové body sítě částečně odpovídající označení provozovatele sítě a dále obsahují délky úseků, dimenze, označení odběratelů a maximální (sjednaný) příkon odběratelů (zimní/letní). Barvou a typem čar je také rozlišeno nadzemní / podzemní vedení potrubí a stávající / výhledové odběry – viz výkresová část.

Na základě výpočtového modelu stávajícího stavu bylo vytvořeno výpočtové schéma nové horkovodní tepelné sítě. Po odladění obou schémat byly optimalizovány dimenze (z pohledu nastavení optimální rychlosti proudění při max. výkonu). Z výpočtového schéma parní sítě byly postupně odpojovány úseky dle jednotlivých etap a posuzovala se vždy část stávající sítě a nová část horkovodní. Tyto úseky byly posuzovány samostatně. Po provedení výpočtu byly sledovány především změny v rychlostech proudění, z čehož vyplývaly změny tlakových ztrát. Na základě tohoto postupu se sestavila celková situace hydraulických poměrů tepelných sítí v průběhu přestavby (během jednotlivých etap).

Výpočtový program RT007 bude použit pouze pro výpočet hydraulických poměrů vodní tepelné sítě. Tepelné ztráty nebudou programem posuzovány.

Výpočtový program RT004 bude použit pro výpočet hydraulických poměrů parní tepelné sítě a pro výpočet tepelných ztrát.

3.1.1 Použitý výpočtový program

RT 007:

Program pro výpočet hydraulických a tepelných ztrát radiálních nebo zokruhovaných **vodních** tepelných sítí pro různé způsoby uložení (nadzemní vedení, podzemní vedení v kanálech, podzemní vedení - pěnobeton a podzemní vedení - polyuretan). Počet zadaných okruhů může být max. 99 a počet zadaných úseků max. 999.

Jedná se o statický program, kde je nutno pro každý provozní stav vytvořit model. Nelze modelovat regulační armatury a více zdrojů tepla v síti. Spolupráci více zdrojů je nutno řešit po částech.

Program umožňuje zadávat průtoky vody v jednotlivých úsecích tepelné sítě nebo zadat odběry na koncích sítě v jednotkách SI nebo MKSA. Lze provádět samostatně pouze výpočet hydraulických nebo tepelných ztrát potrubí, případně současný výpočet hydraulických a tepelných ztrát. Při výpočtu tepelných ztrát je nutno pro každý úsek zadat kromě délky, dimenze, vřazených odporů, tloušťky stěny trubky také tloušťku tepelné izolace a její tepelnou vodivost, u podzemního vedení také rozměry kanálu, výšku krytí a údaje o dalších potrubích v kanále.

Program je určen pro práci na počítačích s operačním systémem MS DOS nebo Windows 98 a Windows 2000, které ještě podporují MS DOS.

Program byl uveden do provozu v ENERGOGROJEKTU Praha v roce 1994, je odzkoušen a vykazuje poměrně malý rozdíl mezi vypočtenými hodnotami a skutečným stavem na síti. Pro dosažení věrohodných výsledků s dostatečnou přesností je vhodné u výpočtů stávajících tepelných sítí provést „odladění“ výpočtového modelu, to je porovnat vypočtené hodnoty tlakových ztrát se skutečně naměřenými hodnotami tlaků při provozu sítě v zimním období a výpočtový model upravit tak, aby vypočtené hodnoty odpovídaly skutečně naměřeným hodnotám ve více bodech sítě najednou.

Výstupní soubory hydraulických výpočtů jsou označeny **outfile.dat** a je možno si je prohlédnout v programu TotalCommander, nebo Salamandru stiskem klávesy F4. V otevřeném poznámkovém bloku je možno listovat, opravovat text nebo provést vytištění textu na papír formátu A4.

Označení výstupních souborů je shodné s označením řešené varianty uvedené v zadání výpočtu. Do výstupního souboru je možné uvést podrobnější popis.

V první části výsledkových tabulek výpočtů RT 007 je rekapitulace zadání výpočtu, to jsou vlastně zadávací údaje uvedené ve výpočtovém schématu tepelné sítě.

USEK C	- číslo úseku sítě
USEK PC	- číslo předchozího úseku
ODBER Q	- odběrové množství tepla v [MW]
KOREK	- místní korekční součinitel pro jiné odběrové množství tepla [-]
DELKA	- rozvinutá délka úseku potrubí [m]
DZETA	- součinitel místních odporů [-]
DNP	- jmenovitá dimenze potrubí [DN potrubí]
DEP	- vnější průměr potrubí [mm]

DIP	- vnitřní průměr potrubí [mm]
O1	- číslo prvního okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí předpokládaný směr proudění
O2	- číslo druhého okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí předpokládaný směr proudění

Ve druhé části výsledků je uvedeno:

USEK C	- číslo úseku sítě
USEK PC	- číslo předchozího úseku
PRUTOK G	- průtokné množství vody úsekem [kg/s]
DELKA L	- rozvinutá délka úseku [m]
SUMA L	- součet rozvinutých délek úseků od zdroje tepla [m]
RYCHLOST C	- rychlost proudění vody v úseku [m/s]
CAS	- doba, za kterou proteče voda úsekem [sec]
SUMA CAS	- doba, za kterou proteče voda od zdroje ke konci úseku [sec]
UBYTEK	- tlaková ztráta jednoho potrubí v úseku [MPa]
SUMA P	- součet tlakových ztrát jednoho potrubí od zdroje tepla [MPa]
O1	- číslo prvního okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí vypočtený směr proudění oproti zadanému
O2	- číslo druhého okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí vypočtený směr proudění oproti zadanému

Je-li ve výsledcích v některých úsecích záporná hodnota průtokného množství vody, záporná rychlost proudění vody a záporná tlaková ztráta, znamená to pouze to, že v daných úsecích proudí voda opačným směrem, než je provedeno zadání výpočtů (znaménko u čísla okruhu). Uvedené výsledky v absolutní hodnotě musí odpovídat skutečnosti.

Na konci výsledkových tabulek jsou uvedeny další údaje, které je možno využít.

- celková rozvinutá délka sítě
- hydraulicky nejvzdálenější bod sítě
- největší tlaková ztráta **jednoho** potrubí od zdroje tepla a číslo úseku s největší ztrátou
- soupis dimenzí a rozvinutých délek potrubí

V hlavičce druhé části výsledků je uveden také celkový objem vody v přívodním a vratném potrubí. Tyto údaje je možno využít pro návrh doplňovacích čerpadel a nádrží na odpouštěnou vodu při změně teploty oběhové vody.

Program pracuje s průměrnou hodnotou hustoty média. Průměrná hodnota se skládá z aritmetického průměru mezi hustotou v přívodní a vratné větvi, proto se z výpočtu jeví, že tlaková ztráta přívodní i vratné trubky je stejná, ale ve skutečnosti tomu tak není. Výpočtový program tento rozdíl zohledňuje.

RT 004:

Program pro výpočet hydraulických a tepelných ztrát radiálních nebo zokruhovaných **parních** tepelných sítí rozlišuje různé způsoby uložení potrubí (nadmírní vedení, podzemní vedení v kanálech, podzemní vedení-pěnobeton). Počet okruhů max. 35, počet úseků max. 350. Tento program umožňuje zapojit současně více zdrojů tepla. Počet zdrojů tepla je maximálně 10 (jeden hlavní + 9 pomocných). Jedná se o statický program, kde je nutno pro každý provozní stav vytvořit model. Nelze modelovat regulační armatury v síti.

Program umožňuje zadávat průtoky páry v jednotlivých úsecích tepelné sítě nebo zadat odběry na koncích sítě v jednotkách SI nebo MKSA. Pro výpočet parametrů páry na začátcích a koncích úseků se musí vždy současně s výpočtem hydraulických ztrát počítat tepelné ztráty parního potrubí – proto je nutno pro každý úsek zadat kromě délky, dimenze, součtu vřazených odporů také tloušťky stěny trubky, tloušťku tepelné izolace a její tepelnou vodivost, u podzemního vedení také rozměry kanálu, výšku krytí, případně další potrubí v kanále (např. kondenzátní potrubí).

Program je určen pro práci na počítačích s operačním systémem MS DOS nebo Windows 98 a Windows 2000, které ještě podporují MS DOS.

Program byl uveden do provozu v ENERGOPROJEKTU Praha v roce 1994, je odzkoušen a vykazuje poměrně malý rozdíl mezi vypočtenými hodnotami a skutečným stavem na síti. Pro dosažení věrohodných výsledků s dostatečnou přesností je vhodné u výpočtů stávajících tepelných sítí provést „odladění“ výpočtového modelu, to je porovnat vypočtené hodnoty tlakových ztrát se skutečně naměřenými hodnotami tlaků při provozu sítě v zimním období.

Výstupní soubory hydraulických výpočtů jsou označeny jako „**vystup.dat**“ a soubor je možno prohlédnout v programu TotalCommander nebo Salamandr stiskem klávesy F4.

V otevřeném poznámkovém bloku je možno listovat, opravovat text nebo provést vytištění textu na papír formátu A4.

V první části výsledkových tabulek výpočtů RT 004 je uvedeno zadání výpočtu, to jsou vlastně vstupní data uvedená ve výpočtovém schématu tepelné sítě.

USEK C	- číslo úseku sítě
USEK PC	- číslo předchozího úseku
ODBER Q	- odběrové množství tepla v [MW]
DELKA	- rozvinutá délka úseku potrubí [m]
DE	- vnější průměr potrubí [mm]
DI	- vnitřní průměr potrubí [mm]
DZETA	- součinitel místních odporů [-]
H	- hloubka uložení osy potrubí pod terénem [m], je-li H=0 znamená to potrubí nad terénem
B	- šířka kanálu [cm]
V	- výška kanálu [cm]
S	- tloušťka tepelné izolace parního potrubí [cm]
KOREK	- místní korekční součinitel pro jiné odběrové množství tepla[-]
D1	- vnější průměr jiného potrubí v kanále [mm]
S1	- tloušťka tepelné izolace jiného potrubí v kanále [cm]
T1	- teplota média jiných potrubí [°C]
D2	- vnější průměr jiného potrubí v kanále [mm]
S2	- tloušťka tepelné izolace jiného potrubí v kanále [cm]
T2	- teplota média jiných potrubí [°C]
D3	- vnější průměr jiného potrubí v kanále [mm]
S3	- tloušťka tepelné izolace jiného potrubí v kanále [cm]
T3	- teplota média jiných potrubí [°C]
D4	- vnější průměr jiného potrubí v kanále [mm]
S4	- tloušťka tepelné izolace jiného potrubí v kanále [cm]
T4	- teplota média jiných potrubí [°C]
O1	- číslo prvního okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí směr proudění
O2	- číslo druhého okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí směr proudění

Ve druhé části výsledků je uvedeno:

USEK C	- číslo úseku sítě
USEK PC	- číslo předchozího úseku
PRUTOK G	- průtočné množství páry úsekem [kg/s]
RYCHLOST C	- rychlost proudění páry v úseku [m/s]
UBYTEK	- tlaková ztráta v úseku [MPa]
TEP.ZTR. QZ	- tepelná ztráta úseku [MW]
SUMA ZTR. QZ	- součet tepelných ztrát [MW]
DELKA L	- rozvinutá délka úseku [m]
SUMA L	- součet rozvinutých délek úseků od zdroje tepla [m]
TLAK	- tlak páry na konci úseku [MPa]
TEPLOTA	- teplota páry na konci úseku [°C]
TK	- teplota vzduchu v kanále nebo na povrchu izolace u nadzemního vedení [°C]
O1	- číslo prvního okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí směr proudění
O2	- číslo druhého okruhu, ke kterému úsek patří, znaménko značí směr proudění

Je-li ve výsledcích v některých úsecích záporná hodnota průtočného množství páry, záporná rychlost proudění páry a záporná tlaková ztráta, znamená to pouze to, že v daných úsecích proudí pára opačným směrem, než je provedeno zadání výpočtů. Uvedené výsledky v absolutní hodnotě odpovídají skutečnosti.

Na konci výsledkových tabulek jsou uvedeny další údaje, které je možno využít.

- celková rozvinutá délka sítě
- nejvzdálenější bod sítě
- největší tlaková ztráta potrubí od zdroje tepla a číslo úseku s největší ztrátou
- soupis dimenzí a rozvinutých délek potrubí

3.1.2 Princip fungování výpočtového programu

Použitá metoda pro výpočet vodní tepelné sítě:

Popsaná metodika výpočtu je převzatá z uživatelské příručky výpočtového programu RT007. Viz. použitá literatura [L5]

Program RT007 umožňuje dvojí možnost zadání vstupních dat a to buď průtoky v jednotlivých větvích, nebo odběry tepla v koncových větvích tepelné sítě.

Výpočtová metoda je prováděna za předpokladu konstantního měrného objemu vody v síti, určeného počátečními parametry.

Pro stanovení entalpie, teploty a objemu byly použity následující stavové rovnice vody.

$$i = f(p, t)$$

$$t = f(p, i)$$

$$v = f(p, t)$$

Program na základě dané geometrie sítě určí průtoky v jednotlivých úsecích (nejsou-li zadány) a pro tyto průtoky spočítá tlakové ztráty.

Použité veličiny:

Q	-	dodávaný tepelný výkon	[kW]
m	-	průtočné množství	[kg/s]
c	-	měrná tepelná kapacita	[kJ/kg·K]
Δt	-	rozdíl teploty v potrubí	[°C]
Δp	-	tlaková ztráta v potrubí	[MPa]
f	-	součinitel tření	[-]
l	-	délka potrubí	[m]
l_{ekv}	-	ekvivalentní délka potrubí	[m]
d_i	-	vnitřní průměr potrubí	[m]
v	-	rychlost proudění v potrubí	[m/s]
ρ	-	měrná hmotnost	[kg/m ³]
$\Sigma \xi$	-	součet místních odporů	[-]
ϵ	-	absolutní drsnost v potrubí	[m]
t	-	doba proudění v úsecích	[s]
G	-	korekční součinitel opravy	[-]

Výpočet průtoku:

$$Q = m \cdot c \cdot (\Delta t)$$

Výpočet hydraulické ztráty v potrubí:

$$\Delta p = 9,806 \cdot 10^{-2} \cdot \left(f \cdot \frac{l}{d_i} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$$

Vzhledem k tomu, že proudění ve vodních tepelných sítích probíhá převážně v oblasti turbulentní, je použita pro výpočet součinitele tření f rovnice Nikaradseho:

$$f = \frac{1}{\left(1,138 + 2 \cdot \log \frac{d_i}{\varepsilon}\right)^2}$$

Vliv vřazených (místních) odporů je vyjádřen redukovanou (ekvivalentní) délkou potrubí:

$$l_{ekv} = l + \frac{\sum \xi \cdot d_i}{f}$$

Výsledný výpočtový vztah pro určení hydraulické ztráty úseku:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{\pi^2} \cdot \frac{l_{ekv} \cdot G^2}{d_i^5 \cdot \rho}$$

Stanovení průtočných rychlostí v úsecích:

$$v = 1,273 \cdot \frac{G}{d_i^2 \cdot \rho}$$

Stanovení doby proudění v úsecích:

$$t = \frac{l}{v}$$

Program RT007 není vhodný pro výpočet tepelných ztrát předizolovaného potrubí, proto metodika tohoto výpočtu není uvedena.

Pro výpočet zokruhované sítě program stanoví první odhad množství jako pro síť radiální. Pro vlastní výpočet je použita metoda Crossova, která je založena na analogii s elektrotechnickou sítí, v níž platí Kirchhoffovy zákony.

Metodika spočívá v opravách odhadnutých průtočných množství v jednotlivých úsecích všech okruhů tak, aby byla splněna podmínka rovnováhy v každém okruhu, to je, aby součet všech tlakových ztrát v každém okruhu byl roven 0.

$$\sum_{i=1}^n p_i = 0$$

Při dodržení okruhové podmínky je zároveň splněna i uzlová podmínka. Pro tento výpočet vytvoří program matici, v níž jsou uložena čísla okruhů a směry toku pro jednotlivé úseky sítě. Směr toku souhlasný se směrem otáčení hodinových ručiček označujeme + a proti směru otáčení hodinových ručiček označujeme -. Jednotlivé řádky matice představují okruhy, sloupce pak úseky sítě.

Protože při prvním výpočtu se vždy dopustíme chyby, je nutné průtoky iterativně korigovat. Tlaková ztráta je podle Manninga úměrná kvadrátu protékajícího množství.

$$\Delta p_i = k \cdot G^2$$

Chyba je pak rovna:

$$\sum_{i=1}^n k_i \cdot G_i^2$$

Pro odstranění této chyby program koriguje průtok o hodnotu G tak dlouho, až je relativní chyba součtu tlakových ztrát <10-3. Výpočet Konverguje poměrně rychle.

Program je prakticky odzkoušen a vykazuje malou odchylku od skutečně naměřených stavů ve skutečných vodních tepelných sítích.

Použitá metoda pro výpočet parní tepelné sítě:

Popsaná metodika výpočtu je převzatá z uživatelské příručky výpočtového programu RT004. Viz. použitá literatura [L5]

Výpočet je prováděn za předpokladu, že stavové hodnoty se pohybují v oblasti přehřáté a syté páry. Dojde-li k ochlazení páry pod teplotu sytosti, počítá se s parou na mezi sytosti (zbytek páry zkondensuje) a program tuto skutečnost signalizuje. Kondenzát je z parního potrubí v relativně nejnižších bodech sítě odváděn.

Pro stanovení entalpie, objemu a teploty jsou programem použity následující stavové rovnice páry.

Přehřátá pára:

$$i = f(p, t)$$

$$t = f(p, i)$$

$$v = f(p, t)$$

Program na základě dané geometrie sítě určí průtoky v jednotlivých úsecích (nejsou-li zadány) a pro tyto průtoky spočítá tlakové ztráty.

Použité veličiny:

Q	-	dodávaný tepelný výkon	[kW]
Q _z	-	tepelná ztráta	[MW]
G	-	průtočné množství	[kg/s]

t_P	-	teplota páry	[°C]
t_K	-	teplota kondenzátu	[°C]
T_K	-	teplota vzduchu v kanále	[°C]
i_P	-	entalpie páry	[J/kg]
i_K	-	entalpie kondenzátu	[J/kg]
k	-	vracený kondenzát	[%]
Δp	-	tlaková ztráta v potrubí	[MPa]
P_n	-	tlak na začátku úseku	[MPa]
f	-	součinitel tření	[-]
l	-	délka potrubí	[m]
l_{ekv}	-	ekvivalentní délka potrubí	[m]
d_i	-	vnitřní průměr potrubí	[m]
D_e	-	Vnější průměr potrubí	[m]
B	-	šířka vrstvy uložení	[m]
V	-	výška vrstvy uložení	[m]
H	-	hloubka osy potrubí	[m]
λ	-	tepelná vodivost	[W/m·°C]
α	-	součinitel přestupu tepla	[W/m ² ·°C]
q	-	tepelný tok	[W/m]
ρ	-	měrná hmotnost	[kg/m ⁻³]
$\Sigma \xi$	-	součet místních odporů	[-]
ϵ	-	absolutní drsnost v potrubí	[m]
R	-	Tepelný odpor potrubí	[m·K/W]

Výpočet průtoku:

$$Q = G \cdot (i_P - k \cdot i_K)$$

Výpočet hydraulické ztráty v potrubí:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{\pi^2} \cdot \frac{f \cdot l \cdot G^2}{\rho} \cdot \left(\frac{d_i}{10^3} \right)^{-5}$$

Vzhledem k tomu, že proudění v parních tepelných sítích probíhá převážně v oblasti turbulentní, je použita pro výpočet součinitele tření f rovnice Nikaradseho:

$$f = \frac{1}{\left(1,138 + 2 \cdot \log \frac{d_i}{\epsilon} \right)^2}$$

Vliv vřazených (místních) odporů je vyjádřen redukovanou (ekvivalentní) délkou potrubí:

$$l_{ekv} = l + \frac{\sum \xi \cdot d_i}{1000 \cdot f}$$

Výsledný výpočtový vztah pro určení hydraulické ztráty úseku:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{\pi^2} \cdot \frac{f \cdot l_{ekv} \cdot G^2}{\rho} \cdot \left(\frac{d_i}{10^3} \right)^{-5}$$

Vzhledem k tomu, že proudění páry v potrubí není isoentropické, je nutno brát v úvahu společně s tlakovými ztrátami i ztráty tepelné. Vzhledem k provázanosti těchto dvou ztrát média je nutno korigovat tlak na konci úseku vlivem změny měrné hmotnosti páry v průběhu proudění úsekem.

Při použití výpočetní techniky lze přepočet několikanásobně opakovat pro stanovení úbytku tlaku při střední teplotě měrné hmotnosti páry v úseku včetně uvažování vlivu vypočtených tepelných ztrát.

Pak je možno počítat se vzorcem pro tlak na konci úseku:

$$p_{n+1} = p_n - \Delta p$$

Pro stanovení přesnějších hodnot je v programu RT004 současně s tlakovými ztrátami počítáno se ztrátami tepelnými.

Program rozlišuje tři možné způsoby uložení potrubí. Vedení nadzemní, respektive podzemní v kanále a bezkanálové vedení s tepelnou izolací v pěnobetonu, kde může být uloženo více potrubí v jednom profilu (až 5 trubek). Podle způsobu uložení se stanoví tepelný odpor potrubí R_p .

Při výpočtu tepelného odporu se uvažuje vliv přírážek na jednotlivé způsoby uložení.

Tepelné přírážky:

Z_K	-	pro kanálové vedení	[°C]
Z_N	-	pro nadzemní vedení	[°C]
Z_B	-	pro bezkanálové vedení	[°C]

Tepelný odpor potrubí v bezkanálovém vedení:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\ln \frac{80 \cdot \sqrt{B \cdot V}}{D_e} \cdot \lambda_2^{-1} + \ln \frac{350 \cdot H}{\sqrt{B \cdot V}} \cdot \lambda_p^{-1} \right)$$

Tepelný odpor potrubí nad terénem:

$$R = \ln \cdot \frac{D_e + 20 \cdot s}{D_e} \cdot (2\pi \cdot \lambda_{iz})^{-1} + \frac{10^3}{\pi \cdot (D_e + 20 \cdot s) \cdot \alpha_{iz}}$$

Povrchová teplota izolace:

$$T_k = \frac{10^3 \cdot q_z}{\pi \cdot (D_e + 20 \cdot s) \cdot \alpha_{iz}} + T_{vzd}$$

Tepelný odpor potrubí v kanálu – odpor parní trubky:

$$R_{TR} = \ln \frac{D_e + 20 \cdot s}{D_e} \cdot (2\pi \cdot \lambda_{iz})^{-1} + \frac{10^3}{\pi \cdot (D_e + 20 \cdot s) \cdot \alpha_{iz}}$$

Obdobně by se spočítal tepelný odpor dalších potrubí v kanálu.

Tepelný odpor kanálu:

$$R_{KAN} = \ln \cdot \frac{4 \cdot H}{d_k} \cdot (2\pi \cdot \lambda_K)^{-1} + \frac{1}{d_k \cdot \pi \cdot \alpha_k}$$

Ekvivalentní průměr kanálu:

$$d_k = \frac{2 \cdot (B + V)}{\pi \cdot 100}$$

Teplota v kanále:

$$T_{KAN} = \frac{\sum T_i / R_i}{\sum 1 / R_i}$$

Výpočet měrné tepelné ztráty lze korigovat přírážkou na tepelné můstky dle ČSN 38 3350 Viz. požítá literatura [L6]

Měrná tepelná ztráta:

$$q_z = \frac{T_i - T_{okolí}}{R_i} \cdot \left(1 + \frac{z_i}{100} \right)$$

Celková tepelná ztráta v úseku:

$$Q_z = \frac{q_z \cdot l}{10^6}$$

Pokles entalpie v úseku:

$$\Delta i = \frac{10^3 \cdot Q_z}{G}$$

Teplota na konci úseku se stanoví z entalpie a tlaku na konci úseku stavovou rovnicí $t=f(p,i)$. Protože na počátku výpočtu je známá pouze počáteční teplota, je nutno stanovit střední teplotu v úseku a s ní opakovat výpočet iterativně.

Program RT004 používá pro výpočet zokruhované sítě metodu D. W. Marquardtovu. Tato metoda je založena na výpočtu gradientu tlakového spádu v jednotlivých okruzích. Podle toho je vytvořena matice gradientů pro celou síť. Řešením lineární rovnice obdržíme hodnoty korekčních přírůstků tlaku pro další iterační krok. Výpočet probíhá tak dlouho, dokud rozdíl není menší než 10^{-5} . Výpočet konverguje poměrně rychle. Program si vytvoří matici, v níž jsou uložena čísla okruhů a směry toků pro jednotlivé úseky sítě. Směr toku souhlasný se směrem otáčení hodinových ručiček je považován za kladný a proti směru hodinových ručiček za záporný. Jednotlivé řádky matice představují okruhy, sloupce pak úseky sítě.

Program je prakticky odzkoušen a vykazuje malou odchylku od skutečně naměřených stavů ve skutečných vodních tepelných sítích.

3.1.3 Dosazované hodnoty

Pro výpočet úseků je nutné zadat následující údaje:

- Dimenze potrubí, do výpočtu je nutné zadat vnější a vnitřní průměr potrubí. Tento rozměr ovšem není znám, proto bylo třeba vnější rozměr parního potrubí zvolit. Rozměry potrubí v klasickém i předizolovaném provedení byly zvoleny dle ČSN EN 10 216 a ČSN EN 10 217. Viz. použitá literatura [L7] a [L8].

Tloušťka stěny parního potrubí byla uvažována

- pro klasické potrubí PN 40
- pro předizolované potrubí PN 25

Další potřebné hodnoty, které je třeba vhodně zvolit:

- Bylo uvažováno s rozvinutou délkou úseku parního potrubí. Tyto délky byly zjištěny ze studie „Optimalizace provozu parní sítě CZT Přerov“ z roku 2006. Viz. literatura [L9].
- Průměrná hloubka krytí je uvažována 1,2 m.

- Součinitele místních odporů ξ (ksí) byly uvažovány následovně

Ohyb hladký do DN350	R=4DN	0,3
Ohyb hladký	R=1,5DN	0,5
Ohyb záhybový	R=4DN	0,5
Šoupátko		0,2
Ventil	DN25-DN200	5,0
Klapka		1,0
Redukce		0,3
Odvzdušnění, odvodnění		0,5
Odbočka – přímá trasa		0,4
Odbočka – odbočení		2,0

Ohyby potrubí u dimenzí DN25 až DN350 jsou uvažovány hladké o poloměru ohybu $R=4DN$. Ohyby potrubí DN400 až DN800 jsou uvažovány záhybové (vzhledem ke stáří sítě a zvyklostem v době budování sítě) o poloměru ohybu $R=4DN$. Ohyby potrubí předizolovaného potrubí jsou uvažovány hladké o poloměru ohybu $R=1,5DN$. Na celé parní síti bylo uvažováno do dimenze DN200 s ventily V30 a od dimenze DN 250 se šoupátka.

Stávající stav: Pro výpočet parní tepelné sítě.

- Rozměry kanálů u podzemního vedení parovodů bylo nutné určit univerzálním způsobem. Šířka a výška kanálu byla zvolena s ohledem na ČSN EN 13 941 Viz. literatura [L10] – národní příloha viz bývalá ČSN 38 3360. Viz. použitá literatura [L11].
- dle normy ČSN 38 3360 [L11] byly rozlišeny typy kanálu na:
 - průlezný
 - neprůlezný
 - průchozí

Další zadané údaje

- Tloušťky tepelných izolací byly zjištěny ze studie „Optimalizace provozu parní sítě CZT Přerov“ z roku 2006 Viz. literatura [L9].
- Zohlednění stáří tepelných izolací bylo provedeno pro celou síť volbou součinitele tepelné vodivosti izolace λ dle výsledku studie „Optimalizace provozu parní sítě CZT Přerov“ z roku 2006 Viz. literatura [L9] na hodnotu 0,14 (W/m²K).

- Na celé parní síti Přerov střed bylo uvažováno se samostatným parním potrubím (pára a kondenzát v samostatných kanálech). Skutečnost je patrně jiná. Na výsledky výpočtu toto nemá podstatný vliv. S kondenzátním potrubím není proto třeba uvažovat. Údaje o kondenzátním potrubí (typ vedení a tloušťky izolací) nebyly zjišťovány.

3.2 Bilance potřeb tepla

Podle aktualizovaných bilancí potřeb tepla pro rok 2010 (poskytla Dalkia ČR – divize Přerov v 11/2010) jsou na stávající parní síti připojeni odběratelé tepla se sjednaným příkonem Viz. literatura [L6]:

- zimní provoz	163,419 MW
- letní provoz	44,775 MW
- roční spotřeba tepla	866 690 GJ

Výkony jsou do programu RT004 a RT007 zadány jako maximální smluvní výkony zimní. Hledaný provozní stav je pak vypočítán dosazením korekčního součinitele pro celou síť.

Bilance tepla podle zadaných a skutečných hodnot.

	<u>Smluvní potřeby tepla</u>	
	zima	léto
Stávající odběry v HV	13,660 MW	3,280 MW
<u>Převod z páry 0,9 MPa</u>	<u>149,759 MW</u>	<u>41,495 MW</u>
mezisoučet	163,419 MW	44,775 MW
Koeficient současnosti $k = 0,9$	147,077 MW	40,297 MW
Nová výstavba	12,000 MW	6,000 MW
<u>Stávající kotelný ve městě</u>	<u>6,600 MW</u>	<u>6,600 MW</u>
mezisoučet	18,600 MW	12,600 MW
<u>Koeficient současnosti a nejistoty $k = 0,8$</u>	<u>14,880 MW</u>	<u>10,080 MW</u>
Výhledová potřeba HV celkem	161,957 MW	52,897 MW
=====		

Skutečné potřeby tepla

	zima	léto
Stávající odběry v HV	8,63 MW	1,41 MW
Převod z páry 0,9 MPa	95,64 MW	17,73 MW
mezisoučet	104,27 MW	19,14 MW
Koeficient současnosti k = 0,9	není třeba uvažovat	
Nová výstavba	12,00 MW	6,00 MW
Stávající kotelny ve městě	6,60 MW	6,60 MW
mezisoučet	18,60 MW	12,60 MW
Koeficient současnosti a nejistoty k = 0,8	14,88 MW	10,08 MW
Výhledová potřeba HV celkem	119,15 MW	29,22 MW
=====		

Skutečná potřeba stávajících odběrů v HV byla určena pomocí korekčního součinitele (podíl mezi skutečnou potřebou páry a smluvní potřebou páry). Výhledové potřeby se nemění. Údaje o skutečné spotřebě páry byly získány z provozních údajů poskytnutých provozovatelem sítě Dalkia Přerov. Změnou teplotního média (zrušení parovodů a nahrazením horkovody) se odběry tepla nemění.

Výpočet tepelného výkonu podle obecné křivky trvání teplot v ČR dle ČSN 38 3350 viz použitá literatura [L6].

Pro porovnání a získání podrobnějších údajů v průběhu roku byl proveden výpočet korekčního součinitele podle obecné křivky trvání teplot dle následujícího vzorce:

$$Q_{skut} = Q_{Smluvní} \cdot \frac{(t_{is} - t_e')}{(t_{is} - t_e)}$$

Použité veličiny:

$Q_{Smluvní}$	-	smluvní tepelný výkon	[MW]
$Q_{Skutečné}$	-	skutečný tepelný výkon v daném období	[MW]
t_{is}	-	teplota vytápěného prostoru	[°C]
t_e	-	nejnižší teplota pro danou oblast [L6]	[°C]
t_e'	-	dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C] viz literatura [L12]	

Z výpočtu vyplývá potřeba tepla v jednotlivých měsících topného období.

Měsíc	t_e'	t_e	t_{em}	$Q_{Smluvní}$	$Q_{skutečné}$
Leden	-3,1	-12	20	163,42	117,97
Únor	-1,4				
Březen	2,4				
Duben	7,5				
Květen	12,5				
Červen	15,5				
Červenec	16,9				
Srpen	16,5				
Září	13				
Říjen	8,2				
Listopad	2,7				
Prosinec	-1,3				

Tabulka č. 3.1 Skutečná potřeba tepla v jednotlivých měsících.

Na tabulku bude navázáno dále. Od korigovaných potřeb tepla v jednotlivých měsících se budou odvíjet tepelné ztráty a čerpací práce na tepelné síti.

Topné období trvá dle ČSN 38 3350 [L6] cca 259 dnů. Zjednodušeně je možné konstatovat, že k potřebě tepla pro vytápění nedochází po dobu 4 měsíců, jejichž dlouhodobý normál je vyšší než 13°C. Při teplotě vyšší než 13°C je z SCZT připravována převážně teplá voda.

Délka topného období je proto upravena na 243 dnů v roce a délka mimotopného období na 122 dnů v roce.

3.3 Sestavení modelu pro hydraulický výpočet nové horkovodní tepelné sítě

Pro zpracování pravoúhlého schéma bylo třeba zjistit základní informace o stávající parní síti. Základní konfigurace byla převzata ze studie Studie „TPŘ – přestavba parní sítě na horkovodní“, zpracovala Energoprojekta Přerov s.r.o. v 05/2000, zak. číslo 02000-001. Viz. použitá literatura [L13] a aktualizována podle současných bilancí tepla a současných výhledových odběrů. Oproti původnímu stavu z roku 2000 došlo k výraznému poklesu odběrů tepla a zvýšení tepelných ztrát parní tepelné sítě, především v procentuálním vyjádření vzhledem k teple dodanému odběratelům.

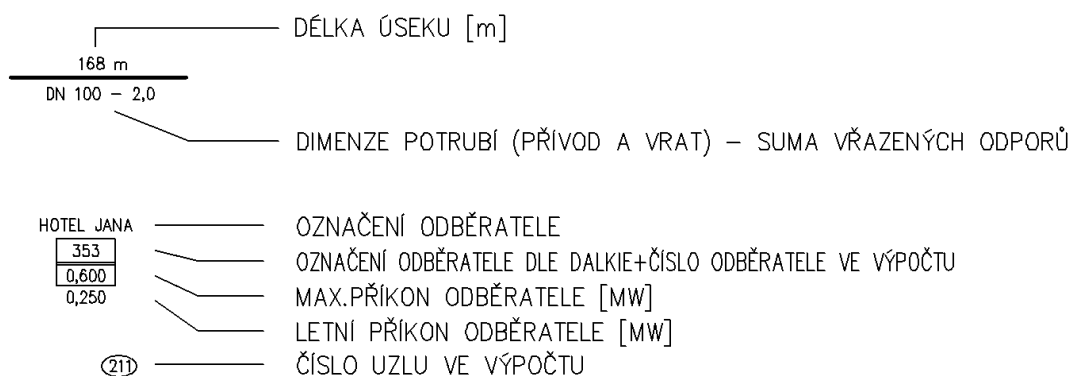
Dále byla použita Mapa města Přerov v měřítku 1:5500 a nástěnná mapa 1:3800 se zákresem parních sítí, které byly v roce 2010 v provozu – zpracovala Dalkia ČR – divize Přerov (propagační materiál) Viz. použitá literatura [L14].

Ze známé konfigurace stávající parní sítě Přerov bylo zpracováno pravoúhlé schéma přizpůsobené požadavkům výpočtového programu RT004 a RT007.

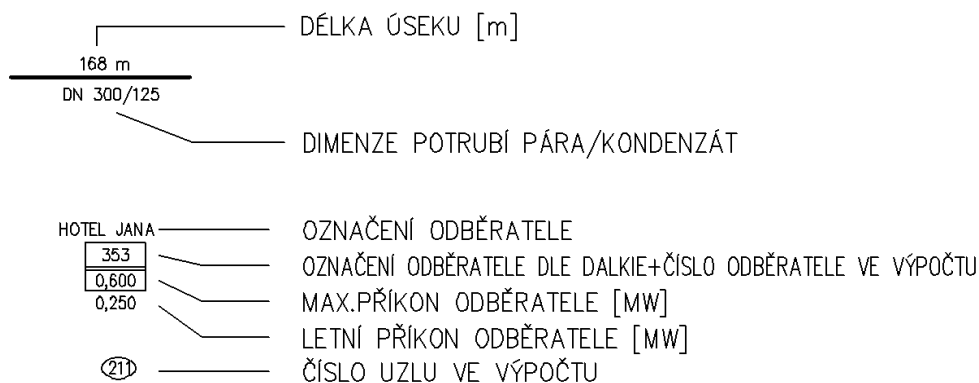
Do zpracovaného schémata byly vloženy základní údaje o tepelné síti. Především byly rozlišeny nadzemní a podzemní úseky tepelné sítě. Dále byly zjištěny délky úseků a dimenze úseků. Číselné označení uzlových bodů (začátek a konec úseku) částečně odpovídá označení stávajících obslužných šachet na trase parovodů, případně jsou čísla šachet uvedena vedle čísla uzlového bodu. V místě koncových odběratelů je uveden název odběratele, číslo odběratele dle značení provozovatele parní sítě a dodávaný tepelný výkon. Jako dodávaný tepelný výkon je uveden smluvní výkon, který se od skutečného může značně lišit. U jednotlivých odběratelů je uveden vždy tepelný výkon pro zimní období (v rámečku) a výkon pro letní období. V letním období je u naprosté většiny odběratelů teplo z SCZT potřeba pouze pro přípravu teplé vody a technologii. U odběratelů odpojených byl do výpočtu zadán minimální možný výkon (dáno programem) 10kW. Tento výkon byl zadán rovněž ve výpočtu letního provozu sítě, kdy někteří odběratelé teplo z SCZT neodebírají. Informace o aktuálních smluvních odběrech z tabulky smluvních odběrů poskytnutých provozovatelem tepelné sítě a uvedené jako příloha č.1.

V pravoúhlém schématu výpočtu nejsou uvedeny hodnoty vřazených odporů. Suma vřazených hydraulických odporů (pro stanovení místní tlakové ztráty) byla stanovena při zadávání dle zkušeností zpracovatele podle předpokládaných komponent instalovaných do trasy. Hodnoty vřazených odporů pro jednotlivé komponenty jsou uvedeny v kapitole 3.1.3 dosazované hodnoty.

Obrázek č. 3.5 Příklad zadaného úseku pro vodní tepelnou síť.



Obrázek č. 3.6 Příklad zadaného úseku pro parní tepelnou síť.



Stávající parní tepelná síť Přerov je několikrát zokruhována. Počet okruhů se mění s aktuálním ročním obdobím a venkovní teplotou vzduchu (provoz parovodu P4 v zimním období). Dále se na počtu okruhů v konfiguraci tepelné sítě může projevit technický stav potrubí (možnost vzniku poruch).

Pravoúhlá schémata parní a horkovodní tepelné sítě jsou znázorněny jako přílohy č. 6 a 5.

Grafické znázornění na výkresech bylo přeneseno do textové podoby (zadání do programu RT 004 a RT 007) v podobě zdrojového souboru VSTUP.txt (parní tepelná síť) a souboru INFILE.txt (vodní tepelná síť).

3.4 Stanovení posuzovaných provozních stavů stávající tepelné sítě

Korekční součinitel zadávaná do zadání výpočtu je procentuální vyjádření provozu oběhového množství média na zdroji. Součinitel vypočítáme jako podíl požadovaného výkonu s výkonem maximálním. Pro základní dimenzování tepelné sítě v jednotlivých etapách bude použit korekční součinitel pro zimní období vyjadřující smluvní tepelné výkony.

Zima:

Korekční součinitel pro zimní období = $161,957 / 182,019 = 0,890$ – smluvní stav

Korekční součinitel pro zimní období = $119,150 / 182,019 = 0,655$ – skutečný stav

Korekční součinitel pro zimní období = $117,970 / 182,019 = 0,648$ – vypočtený stav

Léto:

Korekční součinitel pro letní období = $52,897 / 182,019 = 0,290$ – smluvní stav

Korekční součinitel pro letní období = $29,220 / 182,019 = 0,161$ – skutečný stav

Korekční součinitel pro letní období = $35,750 / 182,019 = 0,196$ – vypočtený stav

Rozdíl mezi maximálním skutečným a vypočteným provozním stavem v zimním období je zanedbatelný. Kontrolní přepočet tepelné sítě v letním období byl proveden s korekčním součinitelem pro skutečný stav. Výpočet hydraulických výpočtů pro letní období byl proveden pouze kontrolně pro kontrolu fungování sítě. V diplomové práci není uveden.

Pro další výpočty tepelných ztrát a čerpacích prací byly vypočteny korekční součinitele pro všechny měsíce v roce vzhledem k teplotě dlouhodobého normálu teploty vzduchu 1961-1990 [°C].

Korekčního součinitele podle obecné křivky trvání teplot vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$K = \frac{Q_{skut}}{Q_{S+V}}$$

Použité veličiny:

Q_{skut}	-	potřebný skutečný tepelný výkon	[MW]
Q_{S+V}	-	smluvní + výhledový tepelný výkon	[MW]
K	-	korekční součinitel	[-]
t_e'	-	dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C]	
		viz literatura [L12] – pouze informativní	

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
t_e'	-3,1	-1,4	2,4	7,5	12,5	15,5	16,9	16,5	13	8,2	2,7	-1,3
$Q_{skutečné}$	117,97	109,29	89,88	63,84	38,30	22,22	22,22	22,22	22,22	60,26	88,35	108,78
Q_{S+V}	182,019	Zimní období				Letní období				Zimní období		
K	0,648	0,600	0,494	0,351	0,210	0,161	0,161	0,161	0,161	0,331	0,485	0,598

Tabulka č. 3.2 Korekční součinitele v jednotlivých měsících.

Výpočty s jednotlivými korekčními součiniteli pro každý měsíc v roce budou využity pro výpočet tepelných ztrát a čerpacích prací tepelné sítě.

3.5 Vyhodnocení výsledků hydraulických výpočtů

Pro prvotní návrh tepelné sítě byla použita tabulka doporučených přenosových schopností potrubí při tlakové ztrátě 60-80Pa/m uveřejněná v katalogu předizolovaného potrubí PAN – ISOVIT. Tento výrobce již neexistuje. Viz. použitá literatura[L15].

Parametry stávající parní tepelné sítě:

Tlak a teplota páry na vstupu do sítě	0,9 MPa/240°C
Teplota kondenzátu	45°C
Návratnost kondenzátu	90 %
Teplota venkovního vzduchu	-12°C
Teplota zeminy	5°C
Tepelná vodivost - zeminy	2,5 W/mK
- izolace	0,14 W/mK
Drsnost vnitřního povrchu potrubí	0,2 mm

Parametry nové horkovodní soustavy:

Jmenovitý teplotní spád - zima	130/70°C
- léto	80/50°C
Tlaková úroveň	PN 16
Drsnost vnitřního povrchu potrubí	0,5 mm

Z uvedených teplotních spádů nové horkovodní tepelné sítě vyplývá, že maximální rozdíl mezi přívodním a vratným potrubím v zimním období bude $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ a v letním období $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$.

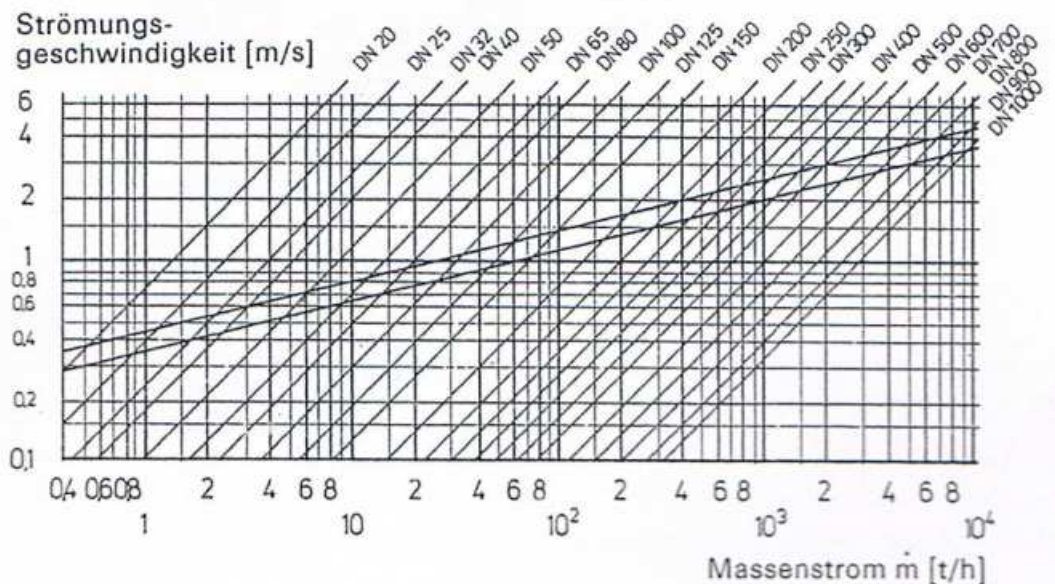
Prvotní návrh dimenzí byl proveden dle známých odběrů jednotlivých odběratelů podle uvedené tabulky.

Na základě uvedeného postupu byl proveden návrh dimenzí nové horkovodní tepelné sítě Přerov. viz použitá literatura[L15]

DN potrubí	$\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ [MW]	$\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ [MW]
DN40	0,087 - 0,105	0,174 - 0,209
DN50	0,164 - 0,192	0,328 - 0,384
DN65	0,324 - 0,384	0,649 - 0,768
DN80	0,506 - 0,576	1,012 - 1,151
DN100	0,994 - 1,151	1,989 - 2,303
DN125	1,745 - 2,024	3,489 - 4,047
DN150	2,861 - 3,315	5,722 - 6,629
DN200	5,827 - 6,734	11,653 - 13,468
DN250	10,467 - 12,142	20,934 - 24,283
DN300	16,468 - 19,085	32,936 - 38,170
DN400	30,075 - 34,890	60,150 - 69,780
DN500	54,777 - 63,500	109,555 - 127,000

Tabulka č. 3.3 Doporučené přenosové schopnosti potrubí při tlakové ztrátě 60-80Pa/m. Viz. použitá literatura[L15]

Poté byly výsledky výpočtu provedeného programem RT007 porovnány s diagramem doporučených rychlostí uveřejněném v katalogu předizolovaného potrubí PAN – ISOVIT. Tento výrobce již neexistuje. Viz. použitá literatura[L15].



Obrázek č. 3.7 Diagram doporučených rychlostí proudění. Viz. použitá literatura[L15]

Dimenze nového horkovodního rozvodu byly většinou sníženy o jednu dimenzi. Z výpočtu vyplynuly tlakové ztráty přívodního a vratného potrubí. Podle výsledků výpočtů

byly sestaveny tlakové diagramy pro jednotlivé varianty. Rozevření tlakového diagramu při největším zatížení odpovídá požadavkům na provozování nového horkovodního potrubí do tlakové úrovně PN16. Úzké vyznačené pásmo v diagramu značí oblast optimálních rychlostí proudění média potrubím. Dolní přímka značí hranici odpovídající tlakové ztrátě při proudění 60 Pa/m a horní křivka značí hranici 80Pa/m. V místě, kde vyznačené pásmo protíná přímku charakterizující dimenzi potrubí, je možné ve svislé ose vlevo odečíst rychlost proudění [m/s] a na ose dole průtok potrubím[t/h]. Dimenze potrubí byly zvoleny tak, aby tlaková ztráta v každém metru potrubí nebyla větší než 80 Pa/m.

V příloze jsou uvedeny tlakové diagramy sestavené podle normy ČSN 38 3350 Viz. použitá literatura [L6]. Tlakové diagramy platí vždy pro maximální smluvní odběry. Rozevření tlakových diagramů při různých výkonech v jednotlivých měsících bude uvedeno v kapitole č.6.

Tlakové diagramy horkovodní sítě jsou uvedeny jako příloha č. 7. (vzhledem k rozsahu práce jsou přiloženy pouze diagramy pro etapu č. 3.

Současně jsou pro každou z posuzovaných etap uvedeny tři z hydraulicky nejvzdálenějších bodů na síti a to jak z horkovodní části tepelné sítě, tak ze zbytku stávající parní tepelné sítě.

Etapa č. 1-1

Tabulka č. 3.4 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu

[-]	[-]	[MPa]	[kg/s]
Číslo stanice	Název stanice	Tlaková ztráta	Dopravované množství
029	Meopta – hl. závod	0,3523	45,08
659	Teplo Štřava III EC1	0,2436	24,80
353	Hotel Jana	0,3417	2,13

Tabulka č. 3.5 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na parovodu

[-]	[-]	[MPa abs.]	[°C]
Číslo stanice	Název stanice	Tlak u odběratele	Teplota u odběratele
635 – nejvzdál. bod	Velká dlážka-Sever	0,769	168,78
352	Zemědělská škola	0,774	169,07
360	Atlas	0,864	173,65

Etapu č. 1-2

Tabulka č. 3.6 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu

[-]	[-]	[MPa]	[kg/s]
Číslo stanice	Název stanice	Tlaková ztráta	Dopravované množství
029	Meopta – hl. závod	0,4036	45,08
659	Teplošřava III EC1	0,3030	24,80
353	Hotel Jana	0,3930	2,13

Tabulka č. 3.7 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na parovodu

[-]	[-]	[MPa abs.]	[°C]
Číslo stanice	Název stanice	Tlak u odběratele	Teplota u odběratele
635 – nejvzdál. bod	Velká dlážka-Sever	0,786	169,68
352	Zemědělská škola	0,791	169,96
360	Atlas	0,870	173,92

Etapu č. 2

Tabulka č. 3.8 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu

[-]	[-]	[MPa]	[kg/s]
Číslo stanice	Název stanice	Tlaková ztráta	Dopravované množství
680	Pod Skalkou	0,3216	16,93
352	Zemědělská škola	0,2693	3,77
649	Velká dlážka Jih	0,1950	5,14
363	ZZN - Hlavní	0,1768	2,13

Tabulka č. 3.9 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na parovodu

[-]	[-]	[MPa abs.]	[°C]
Číslo stanice	Název stanice	Tlak u odběratele	Teplota u odběratele
023– nejvzdál. bod	Teplo ČD přednádraží	0,765	168,55
682	Polyf. Dům Jateční	0,789	169,83
638	Havlíčková 15	0,788	169,80

Etapu č. 3

Tabulka č. 3.10 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu – poslední etapa přestavby

[-]	[-]	[MPa]	[kg/s]
Číslo stanice	Název stanice	Tlaková ztráta	Dopravované množství
680	Pod Skalkou	0,3961	16,93
352	Zemědělská škola	0,3439	3,77
649	Velká dlážka Jih	0,2696	5,14
363	ZZN - Hlavní	0,2506	2,13
029	Meopta – Hl. Závod	0,3334	45,08

Výsledky výpočtů hydraulických poměrů tepelné sítě pro jednotlivé etapy jsou uvedeny vzhledem k rozsahu pouze v elektronické podobě na příloženém CD jako příloha č. 13.

4. Stanovení a posouzení tepelných ztrát sítě

Tepelné ztráty budou stanovovány pro každý měsíc zvlášť v závislosti na průměrném dlouhodobém normálu teploty vzduchu. Pro stanovení tepelných ztrát nové horkovodní sítě bude uvažováno s regulací pouze změnou teploty vody v přívodní větvi (při konstantním oběhovém množství). Výpočet tepelných ztrát parní sítě bude prováděn pomocí dosazování korekčního součinitele do výpočtového modelu použitého při hydraulickém přepočtu parní tepelné sítě.

Tepelné ztráty stávající parní sítě a nově navržené horkovodní sítě budou porovnány. Předpokládáme, že úspora tepla bude značná. Pro zjednodušení je počítán konečný stav po provedení celé přestavby.

4.1 Výpočet tepelných ztrát parního potrubí – metodika výpočtu

Výpočet tepelných ztrát bude proveden výpočtovým programem RT004. Na konci výpočtu je vždy uvedena hodnota tepelného toku sítě, což vyjadřuje okamžitou tepelnou ztrátu. Jednotlivé výpočty se budou lišit korekčním součinitelem, venkovní teplotou a vstupním tlakem. Konfiguraci tepelné sítě do programu vložíme podle výpočtového schémata tepelné sítě viz. příloha č. 6. Hodnota výsledného tepelného toku bude zaznamenána do tabulky. Po provedení výpočtu tepelného toku sítě bude proveden výpočet tepelné ztráty v jednotkách GJ vynásobením s časem. Výsledek výpočtu bude porovnán se skutečnou hodnotou tepelné ztráty za rok 2009 a 2010.

Ztráta Q_m	Počet dnů	Tepelný tok q	T	P	K	Q_{s+v}	t'_e	Měsíc
22717,81	31	8,482	240	1,0	0,648	182,019	-3,1	Leden
20432,46	28	8,446	240	1,0	0,600	Zimní období	-1,4	Únor
22341,71	31	8,341	240	1,0	0,494		2,4	Březen
20761,22	30	8,010	240	1,0	0,351		7,5	Duben
20899,91	31	7,803	240	0,9	0,210	Letní období	12,5	Květen
19982,72	30	7,709	240	0,9	0,161		15,5	Červen
20617,62	31	7,698	240	0,9	0,161		16,9	Červenec
20626,51	31	7,701	240	0,9	0,161	Zimní období	16,5	Srpen
20036,72	30	7,730	240	0,9	0,161		13	Září
21789,19	31	8,135	240	0,9	0,331		8,2	Říjen
21317,81	30	8,224	240	1,0	0,485	Zimní období	2,7	Listopad
22616,67	31	8,444	240	1,0	0,598		-1,3	Prosinec

Tabulka č. 4.11 Tepelné ztráty stávající parní sítě.

Tepelná ztráta za měsíc se vypočítá jako:

$$Q_m = \frac{q \cdot dny \cdot 24 \cdot 3600}{1000}$$

Dosazované hodnoty

Q_{s+v}	-	smluvní + výhledový tepelný výkon	[MW]
K	-	korekční součinitel	[-]
t_e'	-	dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 viz literatura [L12] – pouze informativní	[°C]
P	-	průměrný provozní tlak (abs.)	[MPa]
T	-	průměrná provozní teplota	[°C]
Tepelný tok q	-	výsledek výpočtu programem RT004	[MW]
Ztráta Q_m	-	tepelná ztráta za měsíc	[GJ]

Rekapitulace:

Tepelné ztráty za rok 2009 skutečné:	262 539 GJ/rok
Tepelné ztráty za rok 2010 skutečné:	262 018 GJ/rok
Tepelné ztráty stávající parní sítě vypočtené:	254 140 GJ/rok

4.2 Výpočet tepelných ztrát horkovodního potrubí – metodika výpočtu

Každý z výrobců předizolovaného potrubí uvádí v katalogu postup stanovení tepelné ztráty potrubí. Při tomto postupu všichni vycházejí z přestupu tepla válcovou plochou. Ve výpočtu jsou zahrnuty opravné součinitele a vlastní vztahy pro zohlednění jednotlivých jevů, které mohou nastat.

Tepelnou ztrátu předizolovaného potrubí jsou ovlivněny především teplotou vzduchu, teplotou média a vlhkostí pískového lože v okolí potrubí. Rozložení teplotních polí pak určuje tepelnou ztrátu potrubí. Přívodní a vratná trubka se navzájem tepelně ovlivňují.

Obecně se při tomto výpočtu nedá zohlednit rozdílná tloušťka tepelné izolace přívodního a vratného potrubí. Při návrhu tloušťky tepelných izolací je projektant vázán pouze vyhláškou 193/2007Sb, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. Požadavky, které tato vyhláška klade, jsou však velice mírné a v praxi se tloušťky tepelných izolací volí jinak. Předizolované potrubí se vyrábí ve třech izolačních třídách. Dříve se používala ještě čtvrtá izolační třída 0.

- Izolační třída 0 – Dříve používaná základní tloušťka tepelné izolace. Dnes se používá k dopravě chladu.
- Izolační třída 1 – Dnes běžně využívaná základní tloušťka tepelné izolace. V současnosti se využívá u horkovodů jako vratné potrubí.
- Izolační třída 2 – V České republice se využívá jako zesílená tloušťka tepelné izolace na přívodní potrubí.
- Izolační třída 3 – V České republice se používá výjimečně. V severských zemích je však běžně využívána jako základní tloušťka na přívodní potrubí.

Pro určení hospodárné tloušťky tepelné izolace předizolovaného potrubí je třeba navrhnout optimální kombinaci použitého potrubí. Z tohoto důvodu je třeba přesně určit tepelné ztráty.

Výpočet tepelné ztráty předizolovaného potrubí je v katalogu výrobce podložen měřením, a uváděné hodnoty odpovídají skutečnosti, ovšem nezohledňují rozdílnou tloušťku tepelné izolace na přívodním a vratném potrubí. Postup uvedený dále řeší zohlednění změny tepelné ztráty při rozdílné tloušťce tepelné izolace přívodního a vratného potrubí s využitím obecných termomechanických zákonů sdílení tepla. Výpočet bude proveden jako přestup tepla válcovou stěnou, kdy teplotu v okolí potrubí budeme měnit tak dlouho, než se tepelná ztráta q [W/m] nepřiblíží hodnotám uvedeným v katalogu předizolovaného potrubí. Ze vzorce pro přestup tepla válcovou stěnou odpadne ve jmenovateli poslední člen zohledňující přestup tepla do okolí. V okolí potrubí předpokládáme zhutněný písek, jehož teplota se mění v závislosti na teplotě okolí a vlhkosti. Jestliže dosáhneme přibližně stejných výsledků u známých kombinací přívodního a vratného potrubí, můžeme snadno určit kombinace potrubí s rozdílnou izolační třídou přívodu a vratu.

Postup výpočtu je následující (vzorce pro výpočet jsou uvedeny v příslušném katalogu a nejsou součástí práce) Postup výpočtu je čerpán z katalogu firmy ISOPLUS-EOP viz. použitá literatura [21].

- Výpočet součinitele prostupu tepla k_{ER} [W/m·K]

$$k_{ER} = \frac{1}{R \sum_{ER}}$$

$R \sum_{ER}$ – celkový tepelný odpor potrubí

- Střední teplotní rozdíl je dán rozdílem střední provozní teploty mezi přívodním a vratným potrubím.

$$T_M = \frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} - T_E$$

TM – Střední teplotní rozdíl [°C]

TVL – Střední provozní teplota přívod [°C]

TRL – Střední provozní teplota vratu [°C]

TE – Teplota okolí [°C]

q - Tepelný tok potrubí [W/m]

- Tepelný tok potrubí se vypočítá podle vzorce

$$q = \frac{T_M}{R \sum_{ER}}$$

Z předchozího postupu vyplývá, že tepelné ztráty předizolovaného potrubí jsou v katalozích uvedeny jako aritmetický průměr mezi tepelnou ztrátou přívodního a vratného potrubí. Tento průměr platí pro jednu trubku (jedno jestli přívod nebo vrat). Vzhledem ke skutečnosti, že potrubí je vedeno jako přívodní a vratné, je dvojnásobek uváděné hodnoty shodný se součtem tepelné ztráty přívodního a vratného potrubí.

4.3 Stanovení součinitele přestupu tepla mezi proudícím médiem a potrubím

Určení součinitele přestupu tepla je nutné pro stanovení tepelných ztrát předizolovaného potrubí. Přestup tepla je vypočítán vztahy pro nucenou konvekci do značné míry danou rychlostí proudění média v potrubí. Doporučené rychlosti proudění média v potrubí byly převzaty z katalogu předizolovaného potrubí dnes již neexistující firmy PAN-ISOVIT viz. Použitá literatura a obrázek č. 3.7 Diagram doporučených rychlostí proudění. Viz. použitá literatura[L15]

Dosazované hodnoty:

Pr = Prandtlovo kritérium

ρ = hustota média při počítané teplotě

ν = kinematická viskozita

λ_m = součinitel tepelné vodivosti – média při dané teplotě

W_{min} = doporučená rychlost proudění – minimální hodnota rozsahu

W_{max} = doporučená rychlost proudění – maximální hodnota rozsahu

$D_{vnější}$ = vnější průměr ocelové trubky předizolovaného potrubí

$D_{vnitřní}$ = vnitřní průměr ocelové trubky předizolovaného potrubí

s = tloušťka ocelové stěny potrubí

RE = Reynoldsovo kritérium

Dle hodnoty Reynoldsova kritéria bude rozhodnuto o typu proudění média v potrubí a následně o typu výpočtu Nusseltova kritéria (středního).

$$RE = \frac{\left(\frac{W_{min} + W_{max}}{2} \right) \cdot D_{vnitřní}}{\nu}$$

Dle rozsahu Reynoldsova kritéria určíme druh proudění média v potrubí

Laminární proudění platí do RE=2 320

Přechodové proudění platí od RE=2 320 do RE=10 000

Turbulentní proudění platí od RE=10 000 do RE>10 000 a PR>0,7

Z vypočtených hodnot vyplývá, že médium proudí v potrubí v oblasti turbulentního proudění.

Z tohoto důvodu bude použit následujícího vzorce pro výpočet Nusseltova kritéria.

$$Nu_{stř} = 0,021 \cdot RE^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_R \cdot \epsilon_L$$

Opravné součinitele (ϵ_t , ϵ_R , ϵ_L) zanedbáváme.

Z vypočteného Nusseltova kritéria je možné vypočítat součinitel přestupu tepla α mezi médii proudícím v potrubí a stěnou ocelové trubky předizolovaného potrubí.

$$Nu_{stř} = \frac{\alpha_{média} \cdot D_{vnitřní}}{\lambda} \Rightarrow \alpha_{média} = \frac{Nu_{stř} \cdot \lambda}{D_{vnitřní}}$$

Součinitel přestupu tepla je nezbytný pro výpočet tepelné ztráty předizolovaného potrubí.

4.4 Stanovení tepelného toku potrubí

Tepelný tok samotného předizolovaného potrubí je možné vypočítat jako přestup tepla válcovou stěnou. Předizolované potrubí se skládá z ocelové trubky, PUR pěny a pláště z HDPE. Všechny tyto vrstvy tvoří překážku v přestupu tepla. Jako teplotu vně potrubí budeme uvažovat s teplotou zeminy v okolí potrubí 20°C v letním období a 12°C v zimním období (při těchto teplotách se výsledky shodovaly s katalogovými údaji). Po provedení základního výpočtu byly hodnoty tepelných ztrát pro kontrolu zprůměrovány obdobně, jako v katalogu výrobců předizolovaného potrubí. Vzájemné porovnání výsledků ukázalo, že výsledná odchylka je dostatečně malá.

Dosazované hodnoty:

t_1 = teplota média uvnitř potrubí

t_2 = teplota vně potrubí = t_2 požadovaná

$\alpha_{\text{média}}$ = součinitel přestupu tepla – mezi médiem a ocelovou trubicí

λ_{ocel} = součinitel tepelné vodivosti – ocelové trubky 52,330 W/m·K

λ_{PUR} = součinitel tepelné vodivosti – izolační PUR pěny 0,0275 W/m·K

λ_{HDPE} = součinitel tepelné vodivosti – plášťová trubka 0,4000 W/m·K

D_1 = průměr mediové trubky – vnitřní

D_2 = průměr mediové trubky – vnější

D_3 = průměr plášťové trubky – vnitřní

D_4 = průměr plášťové trubky – vnější

q_{pi} = přenos tepelné energie přes předizolované potrubí – tepelný tok

Přestup tepla válcovou stěnou:

$$q_{PI} = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_{\text{média}} \cdot D_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{ocel}}} \cdot \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{PUR}}} \cdot \ln \frac{D_2}{D_3} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{HDPE}}} \cdot \ln \frac{D_3}{D_4}}$$

Výsledky výpočtu tepelných ztrát pro maximální teplotní parametry 130/70°C a 80/50°C budou uvedeny v příloze č. 8 a budou použity pro návrh hospodárné tloušťky tepelné izolace potrubí viz. dále.

Výsledky výpočtu pro jednotlivé měsíce a celkové vyhodnocení tepelných ztrát budou uvedeny v tabulce na konci kapitoly.

4.5 Stanovení hospodárné tloušťky tepelné izolace předizolovaného potrubí

Pro stanovení hospodárné tloušťky tepelné izolace budeme hledat minimum mezi náklady na tepelné izolace a náklady na ztracené teplo. Toto minimum můžeme považovat za optimální tloušťku tepelné izolace. Vzhledem ke skutečnosti, že předizolované potrubí se dodává ve třech základních izolačních třídách, vzhledem k návrhu a montáži není vhodné měnit izolační třídu u každé dimenze jinak. Z vypočteného optima pro každou dimenzi bude stanovena výsledná optimální tloušťka tepelné izolace předizolovaného potrubí, na kterou budou stanoveny celkové tepelné ztráty nové horkovodní tepelné sítě.

Z tepelného toku potrubí q uváděného v jednotkách [W/m] byla vypočtena celková tepelná ztráta Q potrubí za rok v jednotkách GJ/rok. Pro stanovení celkové tepelné ztráty se nejdříve stanovily délky topných období.

Léto – 122 dnů

Zima – 243 dnů

$$Q_{1TR} = \frac{q_{LÉTO} \cdot (122 \cdot 24 \cdot 3600) + q_{ZIMA} \cdot (243 \cdot 24 \cdot 3600)}{1000000000}$$

Příslušná hodnota tepelného toku byla násobena počtem sekund, během kterých bylo potrubí v provozu a jednotka J/m byla převedena na GJ/m za rok. Tento výpočet byl proveden pro letní a zimní období a výsledek sečten, z čehož vyplynuly tepelné ztráty jedné trubky v příslušné izolační třídě za rok.

$$Q = Q_{PR} + Q_{VR}$$

V příloze č. 8 jsou uvedeny kompletní výsledky výpočtu. Pro přehlednost jsou zde uvedeny tabulky výsledků celkové tepelné ztráty předizolovaného potrubí /rok pro jmenovité teplotní parametry sítě 130/70°C a 80/50°C.

Iz. Tř.	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125
1+1	0,8812	1,0285	1,1607	1,4101	1,4529	1,5158	1,7939
2+1	0,8059	0,9281	1,0535	1,225	1,2771	1,3299	1,565
2+2	0,7688	0,8786	1,0007	1,1337	1,1904	1,2383	1,4521
3+2	0,7195	0,815	0,9018	1,0222	1,0815	1,1224	1,2869
3+3	0,6952	0,7837	0,8531	0,9672	1,0278	1,0652	1,2054

Iz. Tř.	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN500
1+1	2,1906	2,4047	2,278	2,6798	2,5774	2,7583	3,2463
2+1	1,8445	1,981	1,8948	2,2129	2,1174	2,225	2,8328
2+2	1,6738	1,7721	1,7058	1,9827	1,8905	1,9619	2,6288
3+2	1,4522	1,5244	1,4969	1,6927	1,6149	1,7906	2,1339
3+3	1,343	1,4023	1,3938	1,5496	1,479	1,7061	1,8898

Tabulka č. 4.12 Tepelné ztráty v požadovaných kombinacích tloušťky izolací předizolovaného potrubí na přívodu a vratu v [GJ/rok/m].

Pro stanovení nákladů na teplo budeme uvažovat s cenou za jednotku tepla 250 Kč/Gj.

Iz. Tř.	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125
1+1	220,3	257,1	290,2	352,5	363,2	379,0	448,5
2+1	201,5	232,0	263,4	306,3	319,3	332,5	391,3
2+2	192,2	219,7	250,2	283,4	297,6	309,6	363,0
3+2	179,9	203,8	225,5	255,6	270,4	280,6	321,7
3+3	173,8	195,9	213,3	241,8	257,0	266,3	301,4

Iz. Tř.	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN500
1+1	547,7	601,2	569,5	670,0	644,4	689,6	811,6
2+1	461,1	495,3	473,7	553,2	529,4	556,3	708,2
2+2	418,5	443,0	426,5	495,7	472,6	490,5	657,2
3+2	363,1	381,1	374,2	423,2	403,7	447,7	533,5
3+3	335,8	350,6	348,5	387,4	369,8	426,5	472,5

Tabulka č. 4.13 Tepelné ztráty v požadovaných kombinacích tloušťky izolací předizolovaného potrubí na přívodu a vratu v [Kč/rok/m].

Stanovení investičních nákladů na tloušťku izolace bude provedeno jako rozdíl v ceně 1m přímé trubky pouze u vybraných dimenzí. Při určování odpisové ceny předizolovaného

potrubí na 1 rok narazíme na několik překážek. Určení následujících hodnot je bez znalosti ekonomických poměrů velice obtížné, proto byly tyto hodnoty odvozeny

- Jak dlouho odepisovat celou stavbu – předpokládáme 20let
- Jak bude stavba financována (při využití úvěru třeba do ceny promítnout úroky)
předpokládáme, že stavba bude financována bez úvěru
- Jak se v odpisech projeví navýšení ceny o cca 10% na potrubní část zvýšením tloušťky tepelné izolace (o 5% v rámci celkové přestavby potrubí)
- Při propočtu nejsou zahrnuty vícenáklady na stavební a výkopové práce – u izolační třídy 3 budou nejvyšší

Cena za 1m potrubí v příslušných izolačních třídách byla pro potřeby zpracování diplomové práce poskytnuta výrobcí předizolovaného potrubí.

Iz. Tř.	DN 50	DN100	DN200	DN300	DN500
1	335,06	631,73	1331,19	2542,69	5532,42
2	360,91	711,01	1456,97	2881,62	6362,28
3	398,27	770,31	1803,12	3452,67	7316,63

Tabulka č. 4.14 Cena vybraných dimenzí předizolovaného potrubí [Kč].

Z uvedených předpokladů byla stanovena odpisová cena za 1rok. Po sečtení nákladů na ztracené teplo z tabulky č. 4.13 a odpisové ceny za potrubí v jednotlivých izolačních třídách vyšly částky, z nichž hledáme minimum. Optimální tloušťkou tepelné izolace potrubí rozumíme nejnižší kombinaci nákladů na ztracené teplo a pořizovací cenu na tepelnou izolaci. Výsledek výpočtu se znázorněním optimální tloušťky tepelné izolace je uveden v tabulce č. 4.15.

Iz. Tř.	DN 50	DN100	DN200	DN300	DN500
1+1	548,37	845,58	1560,78	2445,47	4597,24
2+1	526,97	760,70	1362,65	2187,58	4227,89
2+2	460,65	702,23	1224,67	1995,97	3917,21
3+2	472,37	743,85	1363,27	2297,66	4547,41
3+3	438,00	683,41	1294,20	2160,22	4187,46

Tabulka č. 4.15 Výsledná hospodárná tloušťka tepelné izolace předizolovaného potrubí [Kč].

Z výpočtu vychází jako hospodárná tloušťka tepelné izolace potrubí v izolační třídě 2 na přívodu i na vratu. Jestliže zahrneme do výpočtu úroky z úvěru nebo jiné odpisové

doby, potom by se mohl lišit i výsledek nejenom v izolačních třídách ale jednotlivé kombinace by se mohly lišit i mezi dimenzemi potrubí. Potom by bylo třeba zvolit jednotnou kombinaci izolačních tříd předizolovaného potrubí na celou síť.

4.6 Výpočet tepelných ztrát – pro tepelnou síť

Z výpočtu hydraulických poměrů tepelné sítě programem RT007 zjistíme délky jednotlivých dimenzí potrubí. Tyto délky vynásobíme tepelnou ztrátou, čímž získáme tepelnou ztrátu sítě při maximálních provozních parametrech 130/70°C a 80/50°C

Tepelné ztráty jsou uvedeny v tabulce č. 4.12.

Iz. Tř.	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125
Délka [m]	1060	922	1636	3041	1535	2808	2905
1+1	934,1	948,3	1898,9	4288,1	2230,2	4256,4	5211,3
2+1	854,3	855,7	1723,5	3725,2	1960,3	3734,4	4546,3
2+2	814,9	810,1	1637,1	3447,6	1827,3	3477,1	4218,4
3+2	762,7	751,4	1475,3	3108,5	1660,1	3151,7	3738,4
3+3	736,9	722,6	1395,7	2941,3	1577,7	2991,1	3501,7

Iz. Tř.	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN500
Délka [m]	1753	3967	1128	4075	0,0	1876	4104
1+1	3840,1	9539,4	2569,6	10920,2	0,0	5174,6	13322,8
2+1	3233,4	7858,6	2137,3	9017,6	0,0	4174,1	11625,8
2+2	2934,2	7029,9	1924,1	8079,5	0,0	3680,5	10788,6
3+2	2545,7	6047,3	1688,5	6897,8	0,0	3359,2	8757,5
3+3	2354,3	5562,9	1572,2	6314,6	0,0	3200,6	7755,7

Tabulka č. 4.16 Výsledky tepelných ztrát v [GJ/rok] pro jednotlivé kombinace izolačních tříd předizolovaného potrubí při maximálních provozních parametrech 130/70°C a 80/50°C.

Suma tepelných ztrát všech dimenzí v jedné kombinaci nám dává výslednou maximální tepelnou ztrátu horkovodní sítě.

Iz. Tř.	Celková tepelná ztráta
Délka sítě	30 917 m
1+1	65 133,9 [GJ/rok]
2+1	55 446,6 [GJ/rok]
2+2	50 669,3 [GJ/rok]
3+2	43 944,1 [GJ/rok]
3+3	40 627,3 [GJ/rok]

Tabulka č. 4.17 Suma tepelných ztrát v [GJ/rok] při maximálních provozních parametrech 130/70°C a 80/50°C.

Tepelné ztráty uvedené v tabulce můžeme považovat za maximální. Kromě těchto ztrát můžeme sledovat tepelné ztráty provozní. Tyto ztráty budou menší. Je to způsobeno regulací teploty v přívodní větvi. Pro namodelování tohoto stavu je třeba stanovit konstantní oběhové množství vody v potrubí. Toto množství v jednotkách kg/s nebo t/h určíme výpočtovým programem RT007. Pro výpočet využijeme provozního stavu odpovídajícímu měsíci lednu.

Do modelu pro celou horkovodní síť zadáme následující parametry:

Korekční součinitel – $K = 0,648$

Teplota přívodní větve – volíme 120°C

Z výpočtu vychází oběhové množství média – **535,96 kg/s = 1 929,46 t/h**

(výpočet není v diplomové práci doložen)

Teplotu přívodní větve pro jednotlivé měsíce vypočítáme podle vzorce:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{př} - t_{vr}) \Rightarrow t_{př} = \frac{Q}{m \cdot c} + t_{vr}$$

m – průtok média [t/h]

c - měrná tepelná kapacita vody [kW/K]

t – teplota média v přívodu a vratu [°C]

Q – množství tepla [MW]

V tabulce jsou uvedeny výsledky výpočtu pro jednotlivé měsíce podle potřeby tepla. Pro zjednodušení výpočtu tepelné ztráty budou teploty zaokrouhleny na desítky.

Měsíc	m	c	$Q_{\text{skutečné}}$	t_{vr}	$t_{\text{př}}$
Leden	1929,46	1,163	117,97	70	\hat{H}_0
Únor			109,29	70	120
Březen			89,88	70	110
Duben			63,84	70	100
Květen			38,30	70	90
Červen			29,30	50	70
Červenec			29,30	50	70
Srpen			29,30	50	70
Září			29,30	50	70
Říjen			60,26	70	100
Listopad			88,35	70	110
Prosinec			108,78	70	120

Tabulka č. 4.18 Výpočet teploty v přívodní větvi horkovodní sítě

Výše uvedený postup pro výpočet tepelných ztrát bude zopakován s tím rozdílem, že za teplotu přívodní větve dosadíme teploty z tabulek a tepelnou ztrátu budeme počítat pro každý měsíc zvlášť. Vzhledem k náročnosti výpočtu bude tepelná ztráta počítána pouze pro potrubí s optimální kombinací tloušťky tepelné izolace, to znamená izolační třídu 2+2 (přívod + vrat).

Měsíc	GJ/měsíc
Leden	4 851,23
Únor	4 381,76
Březen	4 558,98
Duben	4 129,09
Květen	3 974,47
Červen	2 262,47
Červenec	2 337,89
Srpen	2 337,89
Září	2 262,47
Říjen	4 266,72
Listopad	4 411,91
Prosinec	4 851,23

Tabulka č. 4.19 Výsledky tepelných ztrát [GJ/měsíc] pro izolační třídy 2+2 (přívod + vrat) předizolovaného potrubí.

Z výsledků výpočtu vyplývá, že při regulování soustavy změnou v přívodní větvi se tepelné ztráty mohou snížit až na **44 626,11 GJ/rok**. Regulace tepelné sítě závisí také na souběžné regulaci oběhového množství média v síti. Kombinace obou způsobů závisí na mnoha faktorech, mimo jiné na kombinované výrobě elektrické energie.

4.7 Výpočet tepelných ztrát – Závěr

Z výpočtů tepelných ztrát vychází jako optimální kombinace tepelných izolací použití přírodního i vratného potrubí se zesílenou tloušťkou tepelné izolace v třídě 2. Přestavbou tepelné sítě dojde k výrazné úspoře tepla.

Rekapitulace tepelných ztrát – stávající parní síť:

Tepelné ztráty za rok 2010 skutečné: 262 018 GJ/rok

Stávající horkovodní síť: 3 915 GJ/rok

Suma: 265 933 GJ/rok

Rekapitulace tepelných ztrát – nová horkovodní síť po přestavbě:

Nová horkovodní síť: 44 626 GJ/rok

Stávající horkovodní síť: 3 915 GJ/rok

Suma: 48 541 GJ/rok

Z uvedeného vyplývá, že přestavbou tepelné sítě v navrhované izolační třídě předizolovaného potrubí **dojde ke snížení tepelných ztrát o 217 392 GJ/rok** což je 81,7% méně než tepelné ztráty stávající parní sítě.

5. Možnosti přestavby navazujících technologických objektů

Přestavba tepelné sítě nezahrnuje pouze demontáž parních trubek a položení nových horkovodních. Na přestavbu navazují úpravy stávajících, případně vybudování nových technologických celků nezbytných k zajištění provozu nové horkovodní tepelné sítě.

5.1 Nová předávací stanice pára – voda v areálu teplárny Přerov

Asi nedůležitějším objektem, který je v rámci přestavby parní sítě na horkovodní třeba vybudovat, je nová výměňková stanice pára-voda ve zdroji tepla. V této stanici musí být teplo z páry přetransformováno do horké vody. Součástí stanice musí být parní vývod propojený s parovodem CH1 do podniku Precheza. Tento podnik páru odebírá a dodává v nepravidelných intervalech.

Výměňková stanice bude sestávat z řady stojatých výměníků pára-voda, řady čerpadel a úpravny vody se systémem doplňování a odpouštění. Stávající centrální rozdělovač instalovaný v teplárně Přerov by měl být demontovaný a parní potrubí vyvedeno do nové samostatně stojící výměňkové stanice v areálu teplárny. Objekt by měl být proveden jako montovaný s kovovou nosnou konstrukcí, opláštění zateplenými „sendvičovými panely“ a

jeřábovou dráhou pro manipulaci s výměníky, čerpadly, frekvenčními měniči a dalším zařízením instalovaným ve stanici. Objekt by měl mít po obvodu částečné prosklení s ohledem na hygienické normy (denní osvětlení). Objekt bude připojen na vodovod, kanalizaci, přívod elektrické energie a stávající potrubní rozvody. Pod částí by mělo být vybudováno minimálně jedno podzemní patro pro vedení potrubí a k osazení výměníků (vzhledem k jejich velké výšce cca 9m) pod úroveň terénu.

Za vstupem do objektu bude instalován nový rozdělovač. Na potrubí před rozdělovačem by měla být instalována měřicí clona. Z rozdělovače pak paralelně připojeny výměníky tepla. Současně by do rozdělovače mělo být zaústěno potrubí parovodu P1 (Precheza) tak, aby bylo možné páru dodávat i odebírat. Na parním potrubí P1 by měla být také instalována měřicí clona.

Tepelný výkon výměníku bude regulován na straně kondenzátu zaplavitelnými teplosměnnými plochami. Dostatečně vychlazený kondenzát by měl být tlakem páry vytlačován do stávající sběrné nádrže v teplárně. Na straně horké vody by měla být instalován nové rozdělovače a sběrače. Oběhová čerpadla regulovatelná frekvenčními měniči (účinnější regulace oproti hydrospojčkám o cca 7%) by měla být instalována ve vratné větvi spolu se zpětnými klapkami a filtry. Každý vývod z horkovodního rozdělovače a sběrače směrem do města je osazen měřidlem průtoku a tepla. Měřidla budou instalována v přívodním i vratném potrubí (v páru), tak aby byla zajištěna dostatečná přesnost měření. V objektu by také bylo možné situovat nový dispečink pro řízení a regulaci horkovodní sítě.

Výměníková stanice musí splňovat požadavek na regulační rozsah 10-100% a současně také podmínku, že při výpadku největší jednotky musí být schopna stanice pokrýt tepelný výkon pro vnější teplotu -2°C . Tato podmínka vyplývá ze znění normy ČSN 38 3350 viz. použitá literatura [L6].

Výkon výměníku pro vnější teplotu -2°C bude vypočítán podle vzorce:

Použité veličiny:

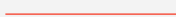

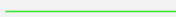
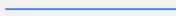

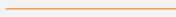
$Q_{\text{Smluvní}}$	-	smluvní tepelný výkon 163,42 MW	[MW]
$Q_{\text{Skutečné}}$	-	skutečný tepelný výkon v daném období	[MW]
t_{is}	-	teplota vytápěného prostoru 20°C	$[^{\circ}\text{C}]$
t_{e}	-	nejnižší teplota pro danou oblast -12°C	[L6] $[^{\circ}\text{C}]$
t_{e}'	-	vnější teplota -2°C	$[^{\circ}\text{C}]$

$$Q_{skut} = Q_{Smluvní} \cdot \frac{(t_{is} - t_e')}{(t_{is} - t_e)} = 163,42 \cdot \frac{(20 - (-2))}{(20 - (-12))} = 112,35 \text{ MW}$$

Tepelné výkony v přechodovém a letním období se pohybují do cca 70 MW. Výkon dvou provozních výměníků volím na 90MW, čímž bude zajištěno pokrytí maximálního smluvního výkonu a ztrát výměníků. Současně by měl být instalován záložní výměník o výkonu 35MW. V průběhu roku by měly být postupně dány do provozu všechny výměníky, aby byla zajištěna funkčnost a spolehlivost zařízení. Oběhová čerpadla by v případě výpadku musela zajišťovat oběhové množství vody 510,32 kg/s a dopravní výšku 103,2m. Tyto parametry bude zajišťovat jedno záložní čerpadlo osazené ve výměňkové stanici. Postup výpočtu je obdobný, jako je popsáno v kapitole 6 „Čerpací práce nové tepelné sítě“. Stanovení korekčního součinitele bylo provedeno podle kapitoly 3.4 „Stanovení posuzovaných provozních stavů stávající tepelné sítě“ na $K=0,617$.

Návrh uspořádání výměňkové stanice ve zdroji tepla pára-voda je znázorněn na následujícím schématu:

Použité označení ve schématu:

	PRIMÁRNÍ MÉDIUM – PÁRA
	PRIMÁRNÍ MÉDIUM – KUNDENZÁT
	SEKUNDÁRNÍ MÉDIUM – PŘÍVOD
	SEKUNDÁRNÍ MÉDIUM – VRAT
	STUDENÁ PITNÁ VODA
	SYSTÉM DOPLŇOVÁNÍ A ÚPRAVY VODY

F – Filtr

Č – Čerpadlo

MSV – Měření studené vody (vodoměr)

RV – Redukční ventil

DA – Doplnění/odpouštění systému

TRV – Trojcestný ventil

OK – Odvaděč kondenzátu

M – Měření tepla a průtoku

ZV – Zpětný ventil / zpětná klapka

PjV – Pojistný ventil

CH – Chemická úprava vody

KL – Klapka uzavírací

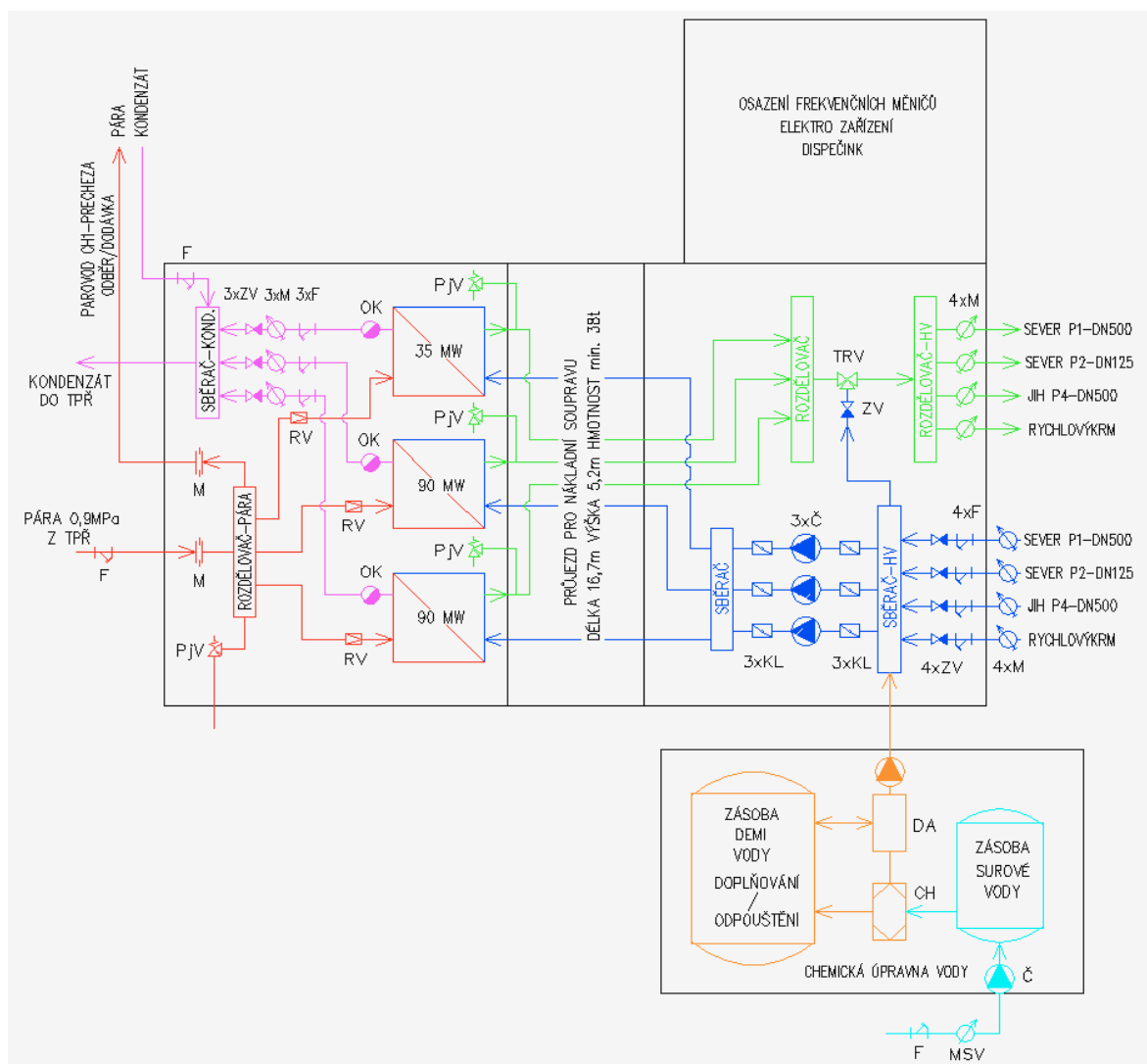


Schéma č. 5.8 – Návrh dispozice nové výměňkové stanice ve zdroji tepla pára-voda.

Součástí práce je návrh hlavního provozního výměníku do nové výměňkové stanice ve zdroji tepla pára – voda. Velikost výměníků byla zvolena na 2 x 90MW + 1 x 35MW. Součástí diplomové práce je návrh a výpočet výměníku o výkonu 90MW. V textu práce je uveden postup výpočtu. Samotný výpočet je uveden jako příloha č. 9.

5.2 Návrh výměníku zdrojové předávací stanice

Množství médií

Oběhové množství vody (průtok výměníkem):

$$Q_{HV} = m \cdot c \cdot (t_{př} - t_{vr}) \Rightarrow m = \frac{Q_{HV}}{c \cdot (t_{př} - t_{vr})}$$

m	množství oběhové vody	[kg/s]
Q_{HV}	Tepelný výkon horkovodu	[MW]
c	měrná tepelná kapacita vody	[kJ/m ³ ·K ⁻¹]
$t_{př}$	teplota přívodního potrubí ve zdroji tepla	[°C]
t_{vr}	teplota vratného potrubí ve zdroji tepla	[°C]

Oběhové množství páry (průtok výměníkem):

$$Q_{páry} = \frac{90 MW}{\eta_{výměn}$$

η	účinnost výměníku	[95%]
$Q_{páry}$	Tepelný výkon horkovodu	[MW]

$$Q_{páry} = m \cdot (i_p - i_k) \Rightarrow m = \frac{Q_{páry}}{(i_p - i_k)}$$

m	množství oběhové páry	[kg/s]
i_p	entalpie páry	[kJ/kg]
i_k	entalpie kondenzátu	[kJ/kg]

Střední teploty médií a volba potřebných veličin

Střední teplotou rozumíme aritmetický průměr mezi přívodní a vratnou větví (platí pro horkovodní i parní stranu výměníku).

$$t_{stř} = \frac{(t_1 + t_2)}{2}$$

Na základě středních teplot určíme následující veličiny:

m	Prandtlovo číslo	[-]
ρ	hustota	[kg/m ³]
ν	viskozita	

Volba průřezu výměníkem (nastavení rychlostí proudění výměníkem)

Na konci výpočtu budou známy počty trubek ve výměníku a rychlost proudění média za plného provozu. Konstrukční řešení výměníku bylo zvoleno klasické (voda v trubkách a pára v plášti výměníku).

$$V_1 = m_{HV} \cdot \frac{1}{\rho_{HV}} \qquad V_2 = m_{páry} \cdot \frac{1}{\rho_{páry}}$$

V1 Průtok vody ve výměníku [m3/s]

V2 Průtok páry ve výměníku [m3/s]

Rychlost proudění média W volíme v závislosti na požadované tlakové ztrátě ve výměníku.

W1 Rychlost proudění vody ve výměníku [m/s]

W2 Rychlost proudění páry ve výměníku [m/s]

Vzhledem k volbě dimenze trubek DN25 (33,7x2,6) v trubkovnici výměníku bude rychlost vody ve výpočtu: $W1 = 1,5 \text{ m/s}$

Rychlost páry ve výměníku je zvolena na: $W2 = 40,0 \text{ m/s}$

$$S_1 = \frac{V_1}{W_1} \quad S_2 = \frac{V_2}{W_2}$$

S1 Průtočná plocha při dané rychlosti proudění vody [m2]

S2 Průtočná plocha při dané rychlosti proudění páry [m2]

$$n_{trubek} = \frac{S_1}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

n_{trubek} Počet trubek v trubkovnici výměníku [-]

$$d_{výměňm} = \sqrt{\frac{(S_1 + S_2) \cdot 4}{\pi}}$$

$d_{výměňm}$ Průměr výměníku vnitřní [-]

Po zaokrouhlení výsledků výpočtu provedeme zpětný přepočítání k určení skutečných rychlostí proudění médií.

$$W_1 = \frac{V_1}{S_1} \quad W_2 = \frac{V_2}{S_2}$$

Výpočet Reynoldsova čísla

$$RE_{HV} = \frac{W_1 \cdot d_{trubky}}{\nu} \quad RE_{para} = \frac{W_2 \cdot \left(\frac{4 \cdot S_2}{o} \right)}{\nu}$$

o Smáčený obvod plochy mezi trubkovnicí a pláštěm [m]

je li $RE < 2350$ = proudění laminární

je li $2350 < RE < 10\,000$ = proudění přechodné

je li $RE > 10\,000$ = proudění turbulentní

Výpočet Nusseltova kritéria a součinitel přestupu tepla

Pro výpočet Nusseltova kritéria je třeba nejprve vypočítat střední teplotu mezi parní stranou výměníku a horkovodní stranou výměníku.

$$t_{stř} = \frac{(t_{stř1} + t_{stř2})}{2}$$

Ze střední teploty budou vypočteny střední hodnoty pro Prandtlova kritéria a dosazeno do vzorce. Pro Horkou vodu i pro páru.

Nusseltovo kritérium pro turbulentní proudění:

$$NU = 0,021 \cdot RE^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{stř}} \right)^{0,25}$$

Součinitel přestupu tepla se vypočte z kritériální rovnice pro Nusseltovo kritérium.

$$\alpha = \frac{NU \cdot \lambda}{d}$$

λ Součinitel přestupu tepla [W/ m-1.K-1]

Vlastnosti výměníku

d1 Vnitřní průměr trubky [m]

d2 Vnější průměr trubky [m]

q Výkon výměníku [W/ m2]

$$q = K \cdot (t_{stř1} - t_{stř2})$$

$$q = \frac{\pi \cdot (t_{stř1} - t_{stř2})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{tr}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}}$$

Vytknutím ze vzorce dostaneme vztah pro plochu výměníku

$$S = \frac{65MW}{K \cdot \Delta t_{stř}}$$

S Teplosměnná plocha [m2]

$$S = o \cdot H \Rightarrow H = \frac{S}{o}$$

o Smáčený obvod trubek v trubkovnici [m]

H Výška teplosměnné plochy trubek (udaná rozsahem)[m]

První kontrolní přepočít

Nejprve budou vypočteny nové střední teploty stěny výměníku.

$$t_{s1} = t_1 - \frac{q}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{tr}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \right)$$
$$t_{s2} = t_2 - \frac{q}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{tr}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \right)$$

Po té bude vypočtena nová střední teplota

$$t_{stř} = \frac{(t_{s1} + t_{s2})}{2}$$

Z nové střední teploty se určí nová hodnota středního Prandtlova kritéria pro horkou vodu a páru. **Provede se přepočít výměníku. Ve výpočtu se pokračuje tak dlouho, než rozdíl mezi dvěma výpočty je zanedbatelně malý.**

Druhý kontrolní přepočít

Tímto výpočtem ověříme, že další přepočty nejsou třeba. Výsledné hodnoty se liší minimálně.

Z výpočtu jsou patrné základní funkční rozměry výměníku pára voda. V nové předávací stanici budou instalovány dva výměníky. Výměníky budou v provedení na stojato jako protiproudé (pára v plášti, voda v trubkách). Vypočtené hodnoty jsou patrné z přiloženého výpočtu. Samotný výpočet je uveden jako příloha č. 9. Diplomová práce rovněž obsahuje výkres výměníku, který je uveden jako příloha č. 10.

Navržený výměník pára - voda zabírá poměrně velkou půdorysnou plochu. Dodavatelé výměníků se v současné době ubírají spíše směrem ke snížení zastavěné plochy a větší výšky, která může dosahovat až 8m. Takový výměník v provedení jako kondenzační má lepší regulaci zaplavitím teplosměnných ploch. Výměník navržený v rámci diplomové práce má rychlosti proudění média nastaveny tak, aby tlaková ztráta zařízení byla co nejnižší. Jestliže budeme zvyšovat rychlosti proudění médií a tím se bude měnit poměr konstrukčních rozměrů. Bude se snižovat průměr výměníku, z čehož vyplývá menší počet trubek v trubkovnici výměníku a větší výška. Rychlost proudění páry by však neměla překročit rychlost cca 45m/s a voda 2,5m/s. Konstrukční rozměry jednotlivých výměníků s různě nastavenou rychlostí proudění se budou výrazně lišit.

5.3 Přestavba výměníkůvých stanic na trase nového horkovodu

Jako součást přestavby stávající parní tepelné sítě je třeba upravit zařízení výměníkůvých stanic, především na straně primárního média (změna tohoto média z páry na horkou vodu). V Přerově jsou výhradně provozovány předávací stanice, které využívají jako topné médium na sekundární straně rozvodů teplou vodu. Výměníkové stanice jsou konstruovány jako tlakově nezávislé. Pára jako topné médium se využívá zcela výjimečně, především k otápění průmyslových objektů. V rámci přestavby tepelné sítě bude v těchto objektech třeba změnit topné médium, nebo instalovat vyvíječe páry (jako méně vhodné řešení).

První výměníkové stanice na SCZT Přerov byly s otevřeným parokondenzátním hospodářstvím. Kondenzát z výměníku (stojatého či ležatého) byl odvaděčem kondenzátu přepouštěn do sběrné nádrže. Tato nádrž se po čase naplnila do úrovně, kdy sepnulo kondenzátní čerpadlo. Toto čerpadlo pak vyčerpalo médium do kondenzátního potrubí a zpět do zdroje tepla. Tento systém je asi nejstarším principem fungování výměníkůvých stanic. V dnešní době je zastaralý a je snaha při rekonstrukcích výměníkůvých stanic otevřené kondenzátní nádrže omezit.

V Přerově je správcem většiny výměníkůvých stanic společnost Teplo Přerov, a.s. Tato společnost postupně od roku 2003 obnovuje výměníkové stanice (pára/voda) ve městě, slučuje je do stanic s většími instalovanými výkony a tím omezuje ztráty. Většina těchto stanic je již rekonstruována a využívá modernějšího systému se uzavřeným parokondenzátním hospodářstvím (hlavní etapa obnovy stanic a rekonstrukce sekundárních rozvodů byla ukončena v roce 2011).

Jednou z výhod systému s uzavřeným parokondenzátním hospodářstvím je účinná regulace výkonu stanice na straně kondenzátu. Výměník je konstruován jako stojatý. Teplosměnné plochy jsou zaplavovány v závislosti na aktuální potřebě tepla. Při potřebě malého tepelného výkonu, je hladina kondenzátu ve výměníku vysoká a tím teplosměnná plocha menší. Naopak při potřebě velkého tepelného výkonu se hladina kondenzátu ve výměníku sníží. Snížením hladiny kondenzátu se zvětší teplosměnné plochy výměníku. K regulaci výměníkůvých stanic je využíváno moderního řídicího systému s dálkovým přenosem provozních dat na centrální dispečink.

Následující informace byly čerpány z internetových stránek výrobce výměníků Kotrbatý, viz. použitá literatura [L16].









Výhody systému s uzavřeným parokondenzátním hospodářstvím oproti systému s otevřeným parokondenzátním hospodářstvím.

- Úplně se odstraňuje odpar kondenzátu. Snižuje se ztráta tepelné energie ve stanici a zvyšuje se její životnost (technologie, MaR a Elektro). Zvýšená vlhkost v prostředí stanice s otevřeným parokondenzátním okruhem způsobuje předčasnou korozi a časté poruchy.
- Úplně odstraňuje kondenzátní hospodářství – snižuje pořizovací náklady jak na samotnou stanici, tak na plošné nároky.
- Stabilizuje hydraulické podmínky v kondenzátní síti.
- Podstatně zjednodušuje technologické schéma výměníkové stanice a snižuje počet potřebných armatur.
- Maximálně využívá tlaku páry pro funkci celé soustavy – doprava kondenzátu zpět do zdroje tepla bez další potřebné energie.
- Z provozních zkušeností na soustavách, kde jsou již stanice s uzavřeným parokondenzátním okruhem instalovány vyplývá, že se rapidně zlepšila kvalita vraceného kondenzátu – především v částečném omezení koroze sítě.
- Nedochází k maření energie například redukčním ventilem nebo provozem kondenzátního čerpadla.

Nevýhody systému s uzavřeným parokondenzátním hospodářstvím oproti systému s otevřeným parokondenzátním hospodářstvím.

- Snížená životnost odvaděčů kondenzátu.
- Prostorové nároky, především ve výšce prostoru pro osazení stojatého výměníku

Použité označení ve schématech:

	PRIMÁRNÍ MÉDIUM – PŘÍVOD
	PRIMÁRNÍ MÉDIUM – VRAT
	SEKUNDÁRNÍ MÉDIUM – PŘÍVOD
	SEKUNDÁRNÍ MÉDIUM – VRAT
	PŘÍPRAVA TUV
	STUDENÁ PITNÁ VODA
	JISTĚNÍ SYSTÉMU – EXPANZNÍ NÁDRŽ
	SYSTÉM DOPLŇOVÁNÍ A ÚPRAVY VODY

SP – Středotlaková pára

TV – Topná voda

CV – Cirkulace teplé užitkové vody

V – Ventil

F – Filtr

Č – Čerpadlo

MSV – Měření studené vody (vodoměr)

RV – Redukční ventil

EXP – Expanzní nádrž

CH – Chemická úpravna vody

TRV – Trojcestný ventil

Kond – Kondenzát

TUV – Teplá užitková voda

ZV – Zpětný ventil / zpětná klapka

O – Odlučovač (separátor kapek)

OK – Odvaděč kondenzátu

M – Měření tepla a průtoku

HV – Havarijní ventil

PjV – Pojistný ventil

DA – Doplnovací automat

PA – Přepouštěcí armatura

KK – Kulový kohout

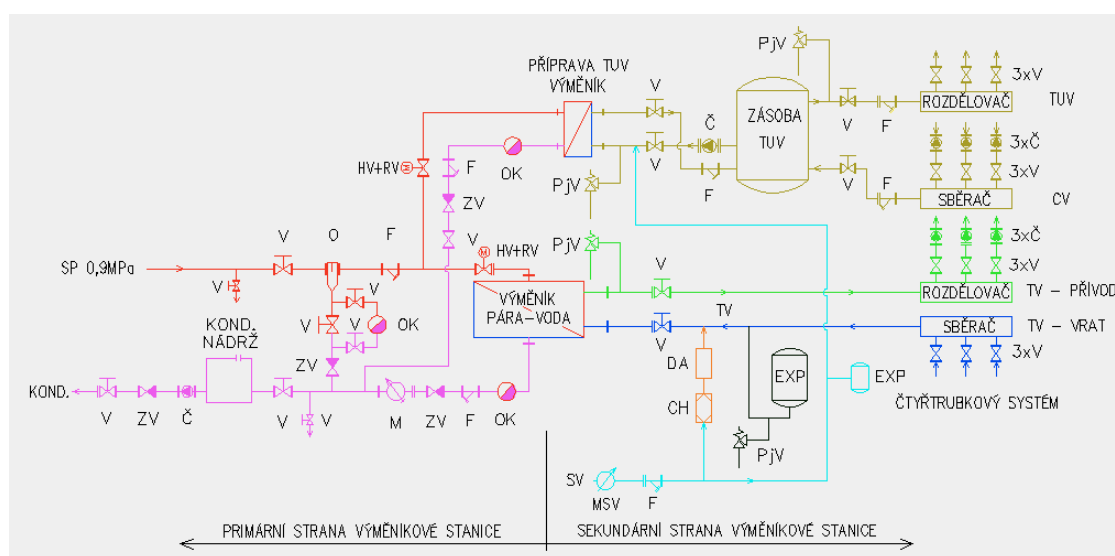


Schéma č. 5.9 Výměníkové stanice s otevřeným parokondenzátním okruhem (starší čtyřtrubkové provedení):

Sekundární okruh výměňkové stanice tvoří v Přerově vždy teplovodní rozvody. Obnova stávajících sekundárních rozvodů a jejich přestavba z kanálového na předizolované provedení probíhá neustále. Původní čtyřtrubkové rozvody jsou postupně nahrazovány dvoutrubkovými, s objektovými předávacími stanicemi u koncových odběratelů. V primární výměňkové stanici dochází k přípravě topné vody s parametry cca 90/60°C. Teplá užitková voda je ve výměňkové stanici připravována pouze pro vlastní objekt, ve kterém je stanice umístěna. Teplá voda pro jednotlivé objekty napojené na sekundární rozvody topné vody je připravována v rámci objektové (zpravidla tlakově závislé) stanice. Objektová (tlakově závislá stanice) se skládá části pro přípravu topné

vody (míchání přívodu a vratu přes trojcestný ventil) a části pro přípravu teplé užitkové vody průtokovým způsobem s akumulací.

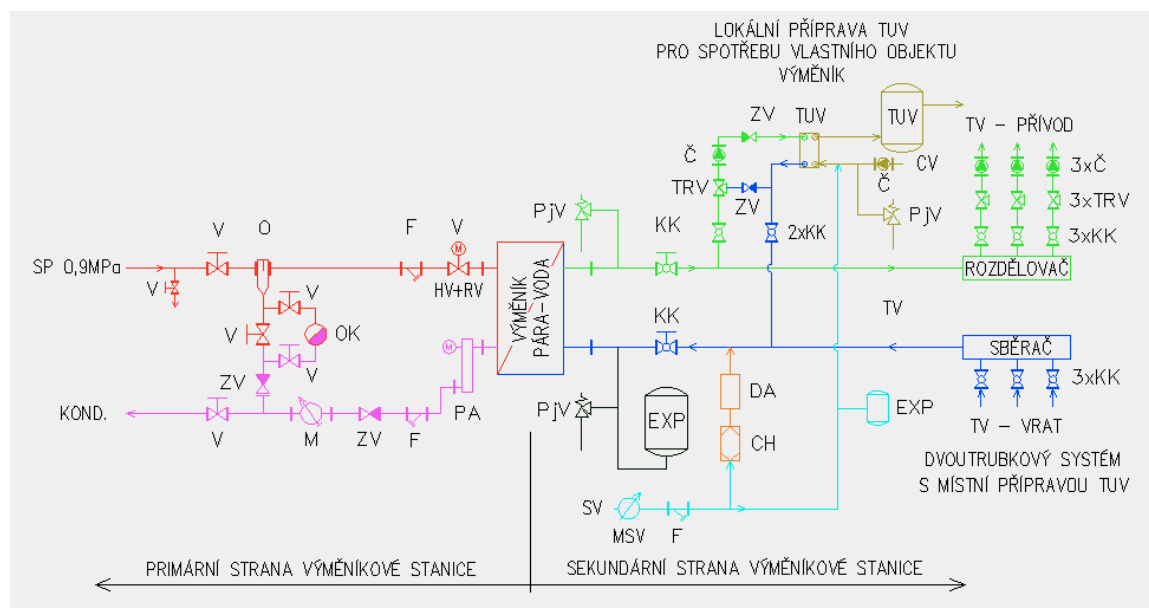


schéma č. 5.10 Výměňíkové stanice s uzavřeným parokondenzátním okruhem (modernější systém stanice pára-voda s dvoutrubkový rozvodem):

Sekundárních rozvodů se přestavba parní tepelné sítě na horkovodní nedotkne. V některých případech je možné stávající teplovodní rozvody napojit přímo na horkovodní tepelnou síť. Toto je však třeba technicko-ekonomicky posoudit případ od případu.

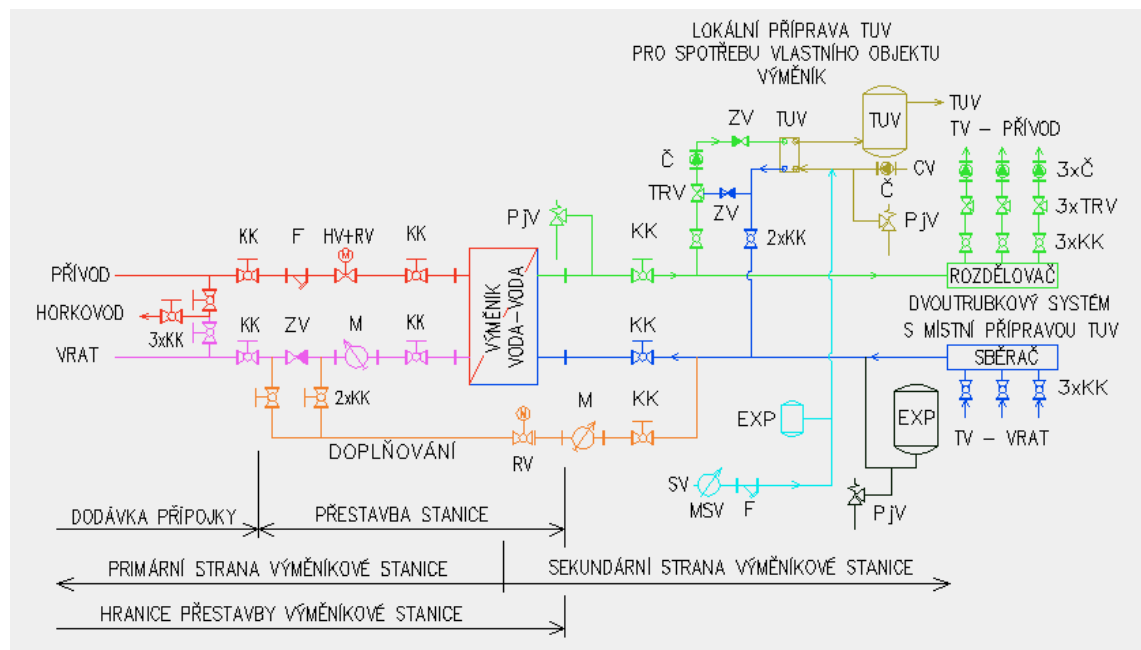


schéma č. 5.11 Výměňíková stanice voda - voda (s vyznačenou hranicí přestavby oproti předchozímu schématu).

V dnešní době se jednotliví výrobci výměníkových stanic specializují na vlastní systémy, kterých je nepřeberné množství. Uvedená schémata jsou navržena pro potřeby diplomové práce jako ideová a skutečně zvolené schéma jednotlivých výměníkových stanic vyplývající z projekčního řešení může být zcela odlišné.

V rámci přestavby výměníkové stanice pára-voda s uzavřeným parokondenzátním okruhem je třeba nahradit veškeré zařízení na primární straně sekundární stanice viz. jednotlivá schémata výměníkových stanic včetně výměníku. Sekundární strana zůstane beze změn. Současně bude ve většině případů možné demontovat zařízení pro chemickou úpravu vody a doplňovací automat. Doplňování do systému by mělo být prováděno z nové horkovodní tepelné sítě vodou o požadované jakosti.

Podle normy ČSN 38 3350 viz. použitá literatura [L6] musí být všechny výměníkové stanice s výkonem větším než 500 kW vybaveny nejméně dvěma výměníky. Schéma by v takové případě vypadalo obdobně s následující změnou. Na primární straně na přívodu by se potrubí k jednotlivým paralelně řazeným výměníkům rozdělovalo v místě za filtrem a opět spojovalo na vratu před měřením tepla. Regulace by probíhala pro každý z výměníků zvlášť. Na sekundární straně by se potrubí na straně vratu topné vody dělilo mezi zaústěním doplňování a kulovým kohoutem. Na straně přívodu musí být před každým z výměníků pojistný ventil. Spojení potrubí z výměníků by mělo být provedeno před odbočkou k výměníku pro přípravu teplé užitkové vody.

Přestavbu výměníkové stanice je třeba provádět mimo topnou sezónu. Zařízení pro fungování stanice na páru musí být funkční do poslední chvíle tak, aby bylo možné po spuštění provozu nové horkovodní sítě výměníkovou stanicí provozovat s minimální odstávkou. Zařízení z parní části stanice může být demontováno až po spuštění provozu na horkou vodu. Přestavba výměníkových stanic nemůže být z kapacitních a organizačních důvodů provedena najednou v celém městě. Proto je nezbytné dodržet rozdělení přestavby na výše uvedené etapy.

5.4 Měření a regulace nové tepelné sítě

V rámci přestavby parní sítě na horkovodní tepelnou síť je třeba počítat se změnou systému řízení a regulace tepelné sítě. V závislosti na měnících se potřebách tepla zavádíme tzv. „denní diagram potřeby tepla“. Tento diagram znázorňuje množství tepla, které se odebírá v průběhu 24 hodin. V nočních hodinách dochází k útlumu, jak vytápění, tak přípravy teplé užitkové vody. V ranních hodinách vzrůstá potřeba teplé užitkové vody

pro osobní hygienu obyvatel vytápěné lokality a v omezené míře i potřeba tepla pro vytápění (ranní špička). Během dne je odběr tepla přibližně ustálený, dochází k vytápění bytů, komerčních prostor atd. V odpoledních hodinách, kdy se lidé vracejí za zaměstnání, se zvýší potřeba tepla na vytápění. Ve večerních hodinách dochází k největšímu zvýšení potřeby tepla, kdy obyvatelé bytů vyžadují nejvyšší tepelnou pohodu a současně je vysoké spotřeba tepla k ohřevu teplé užitkové vody (večerní špička). Poté dochází už jen k nočnímu útlumu.

Obecně lze rozdělit regulaci vodní sítě na dva základní druhy (jak již bylo zmíněno dříve). Jedná se o regulaci změnou teploty a změnou oběhového množství. Obvykle je regulace prováděna jako kombinace obou způsobů.

Přenášené množství tepla se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{př} - t_{vr})$$

m – průtok média	[t/h]
c- měrná tepelná kapacita vody	[kW/K]
t – teplota média v přívodu a vratu	[°C]
Q – množství tepla	[MW]

Jak ze vztahu vyplývá, podle požadovaného množství tepla do tepelné sítě Q je možné upravit hodnoty t (obvykle v přívodní větvi) a m. Regulaci změnou teploty v přívodní větvi provádíme ve výměňkové stanici pára-voda ve zdroji tepla zaplavit teplosměnných ploch stojatých výměníků kondenzátem. Jejich snižováním nebo zvyšováním měníme teplotu média v přívodní větvi. Výslednou teplotu média můžeme za výměníky dodatečně upravit směřováním s chladnějším médiem z vratné větve. Druhou možností regulace je snížení průtoku média. Pomocí oběhových čerpadel se sníží dopravované množství média a dopravní výška média na potřebnou hodnotu tak, aby byl zajištěn u hydraulicky nejvzdálenějšího odběratele dostatečný diferenční tlak (100kPa). Topné médium je během regulace odpouštěno do nádrží, které budou součástí systému doplňování ztrát a chemické úpravy vody. Od správné regulace v závislosti na potřebách kombinované výroby elektrické energie a tepla se odvíjí celková optimalizace provozu a snížení ztrát provozem. Obecně se dá říci, že zavedením některého z moderních systémů řízení a regulace tepelné sítě (oproti starším systémům řízení vodních tepelných sítí) je možné snížit ztráty až o 7%. Průběžným sledováním parametrů tepelné sítě obsluhou na dispečinku je možné provádět

regulaci v závislosti na aktuálních potřebách odběratelů v reálném čase. Největších úspor je možné dosáhnout především na snížení čerpacích prací oběhových čerpadel.

Přestavby tepelné sítě (výměnou potrubí páry a kondenzátu za horkovod) se bezprostředně týká položení kabelů a optochrániček do výkopu společně předizolovaným potrubím. Na podsyp pískového lože se na stranu vratného potrubí položí metalický kabel společně s plastovými chráničkami z materiálu HDPE. Nejčastěji se volí průměr chrániček 40mm. Nad doprovodnými kabely a optochráničkami bývá položena oranžová výstražná fólie. Chráničky a kabely se pokládají od jednoho objektu k druhému tak, aby se neobjevovaly spojky ve venkovních prostorách pod zemí. Kabel a chráničky jsou vedeny po jednotlivých větvích od jednoho objektu k druhému a zpět (hvězdnicově) do místa s centrálním sběrem dat. V místě centrálního sběru dat na trase tepelné sítě jsou informace z jednotlivých odběrů hromadně odesílány na centrální dispečink.

Metalické kabely ve většině případů není nutné ukládat do chrániček, ale stačí jejich přiložení k rozvodům tepla. Na koncích kabelů se pokládá do výkopu z každé strany přizemňovací pásek v délce cca 15 m. Přizemnění se pak v objektech spojuje se stíněním datových kabelů. Metalické kabely jsou v objektech zavedeny do spojovacích krabic. Na spojovací krabice je připojeno veškeré zařízení spojené s měřením provozních parametrů a přenosem dat. Pomocí metalických kabelů jsou dnes běžně přenášena data z jednotlivých objektových předávacích stanic do centrální výměňkové stanice. Vzhledem k poměrně nízkému počtu centrálních předávacích stanic se jeví jako výhodné, aby tyto centrální výměňkové stanice sloužily jako místa sběru dat.

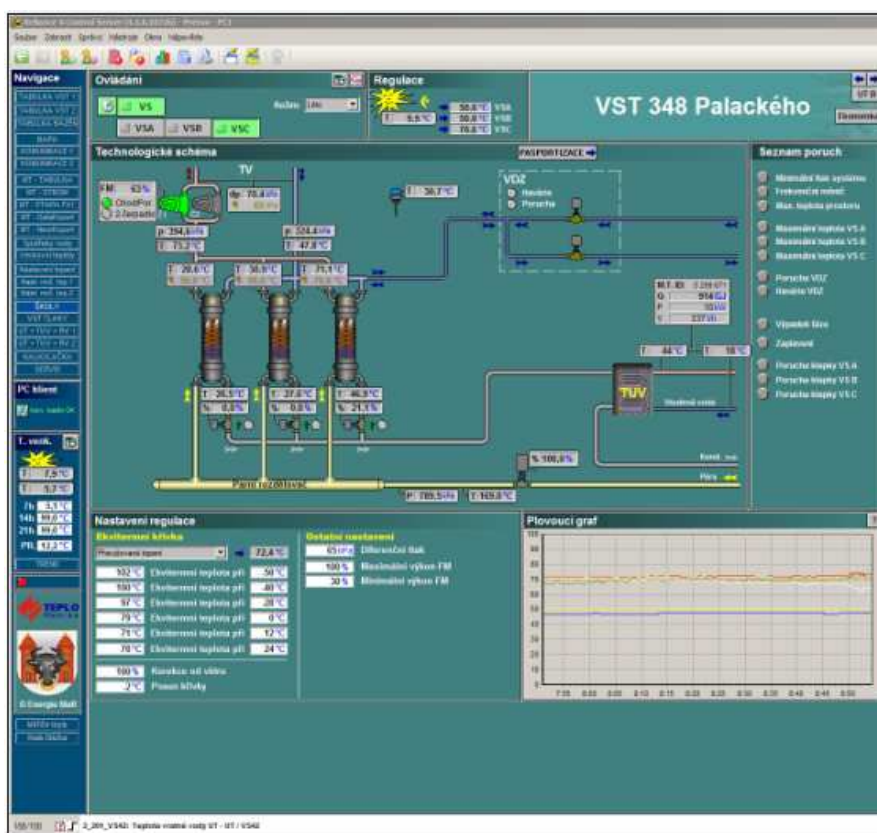
Pro přenos dat z centrálních výměňkových stanic se jeví jako výhodné použít moderní technologii optických kabelů. Optické kabely musí být téměř vždy (u zemních rozvodů) zataženy do plastové chráničky HDPE. Zavádění se provádí buď zatažením (u krátkých vzdáleností pomocí zatahovací šňůry), případně u delších vzdáleností (až 1500m) tzv. zafukováním. K tomu je třeba tlakový vzduch a další speciální příslušenství. Spojkování těchto chrániček se provádí speciálními nepropustnými spojkami, které zajišťují hladké a těsné přechody mezi jednotlivými částmi propojované chráničky. Přechody jsou důležité zejména s ohledem na zafukování kabelů v trase, aby bylo dosaženo co nejmenšího třecího odporu.

Technologie sběru a přenosu dat pomocí optických kabelů je neustále se vyvíjející obor. Volbě optimálního řešení systému měření a regulace by měly předcházet rozsáhlejší studijní práce a výběr použité technologie proveden s ohledem na rozvoj soustavy, technologický vývoj (otevřená architektura systému) a kompatibilita se stávajícím

systémem regulace, který v současnosti používá provozovatel většiny sekundárních rozvodů, společnost Teplo Přerov a.s.

Společnost Teplo Přerov používá od roku 2004 moderní systém řízení a regulace tepelných sítí. Jednotlivé sekundární tepelné sítě jsou vzájemně izolovány a k přenosu dat se využívá kabelové sítě. Jako systém řízení je používán program RELIANCE CZ 4 dodávaný a spravovaný firmou GEOVAP spol. s r.o. v Pardubicích. Tento program umožňuje v návaznosti na hardwarové možnosti on-line sledovat tepelnou síť, okamžitě provádět úpravy, v čase několika vteřin ovládat prvky vzdálené i několik kilometrů v jednotlivých výměňkových stanicích rozptýlených po městě. Program ukládá veškerá provozní data ze všech stanic do databází, které jsou okamžitě k nahlédnutí. Je možné sledovat více stanic najednou a data z nich porovnávat, jestliže uzavřeme havarijní ventil v jedné stanici, co se stane ve stanicích ostatních a podobně.

Každá snímaná hodnota má ve výměňkové stanici v převodníku pevně přiřazenu IP adresu, ze které jsou data odesílána do kabelové sítě. V programu RELIANCE je zapsán seznam těchto IP adres, z kterých si program načítá data a zobrazuje aktuální hodnoty na obrazovku a do databáze. Velikost databází je omezena pouze velikostí volného místa na harddisku.



Obrázek č. 5.12 Schéma stanice v programu RELIANCE

Každá stanice má vizualizované vlastní technologické schéma a nastavené vlastní unikátní zařízení (čerpadla, regulační ventily atd.). Pro potřeby primární výměňkové stanice ve zdroji tepla by bylo možné vyrobit vlastní schémata s řízením jednotlivých technologických celků. Přestavba by také zahrnovala úpravu stávajících schémat výměňkových stanic viz. kapitola 5.2 „Přestavba výměňkových stanic na trase nového horkovodu“. Užívání stejného systému řízení a regulace by umožňovalo sdílení dat a spolupráci při řízení tepelné sítě, například vyrovňování denních odběrových špiček apod.

V současné době se objevují inteligentní řídicí programy, které nejen že spojí ekonomický a technický pohled na tepelnou síť, ale dokážou sami optimalizovat provoz bez zásahu operátora. Takovým softwarem je například program TERMIS dodávaný firmou KELVIN IT. Tento program v naší republice zatím zavedený není, používá se však ve 24 zemích světa, například na Slovensku v Bratislavě, v Polsku, Německu a Dánsku. Program TERMIS je dále schopen provádět inženýrskou činnost (počítat hydraulické poměry v síti) a optimalizovat denní diagram k maximální možné efektivitě provozu. Systém umožňuje kontrolu na více uživatelských úrovních pro různé provozní úseky například dispečink, administrátory, pracovníky v projektové činnosti, nahlížení spotřebitele přes webové stránky atd.

Moderní systém regulace by měl být doplněn kvalitní měřicí technikou, například ultrazvukovými průtokoměry s kalorimetrickými počítadly, schopnou měřit teplo a průtok média do jednotlivých větví s přesností na $\pm 3\%$. U jednotlivých odběratelů ve výměňkových stanicích je možné přenášet data z menších fakturačních měřidel průtoku a tepla.

Na základě naměřených parametrů tepelné sítě je možné optimálně regulovat tepelnou síť a snížit provozní náklady.

5.5 Monitorování průniku vlhkosti do tepelné izolace předizolovaného potrubí

Předizolované potrubí je téměř vždy vybaveno systémem detekce netěsností (alarmsystémem). Detekce zaručuje, včasné odhalení netěsnosti jak mediové trubky, tak pláště potrubí v dostatečně krátkém čase na to, aby případná porucha zůstala izolována a poškozený úsek byl co nejkratší. Předizolované potrubí je dodáváno převážně v 12m kusech a doplněno tvarovkami a různými komponentami. Spojky tepelné izolace předizolovaného potrubí jsou při montáži nahřívány plamenem. Spojka se smrští a přilepí na plášťovou trubku. Při poruše dojde především k navlhnutí polyuretanové pěny, sloužící

jako tepelná izolace. Vlhká nebo mokrá pěna má jiné tepelně izolační vlastnosti a způsobí zvednutí povrchové teploty potrubí na takovou hodnotu, při níž se spojky začínají opět rozlepovat. K této poruše, může dojít pouze během nejvyšších provozních teplot média nebo u kluzných systémů předizolovaného potrubí. Častěji se objevuje jiná porucha. Při průniku vlhkosti do tepelné izolace se změní tepelně izolační vlastnosti polyuretanové pěny a stoupne teplota tepelné izolace. Vlhkost uzavřená v potrubí se začne odpařovat a zvětšovat svůj objem. V hermeticky uzavřeném systému tak dojde k nafouknutí spojky, která se buď roztrhne, nebo při změně dilatace potrubí (prodloužení nebo smrštění trubky) se úplně odtrhne od plášťové trubky. Vlhkost v tepelné izolaci se může rozšířit do úseku v délce několika stovek metrů. Vlhká polyuretanová pěna se časem rozpadne (doslova vyvaří), což má za následek totální zničení potrubí a rapidní vzrůst tepelných ztrát horkovodu.

Systém detekce netěsností je možné realizovat několika systémy. Princip detekce spočívá v elektronickém monitorování netěsností mediové i plášťové trubky. V polyuretanové pění (tepelné izolaci) jsou zalaty dva vodiče, které se v místě spoju jednotlivých dílů propojují tak, aby byla zajištěna kontrola celého potrubního systému, tedy propojí se do měřicí (senzorové) smyčky. Detekce se provádí speciálními detektory.

Detektory jsou založeny buď na principu:

- Konduktometrie
- Reflektometrie

Konduktometrie je založena na vzniku svodu mezi detekčními vodiči, nebo mezi vodičem a trubicí. Svod vzniká v důsledku zvlhnutí PUR pěny. Touto metodou detekujeme pouze výskyt poruchy.

Reflektometrie je vyšší stupeň detekce netěsností. Pracuje na principu měření odrazu elektronického signálu na vedení. K narušení elektrické homogenity dochází na trase detekčního vodiče svodem, zkratem nebo přerušením. V místě takové změny dojde k odrazu elektrického impulsu. Od doby vyslání impulsu po jeho návrat určí přístroj vzdálenost, velikost a povahu poruchy.

Princip určení vzdálenosti poruchy měřícím přístrojem. Čerpáno z katalogu firmy IZO spol. s.r.o. viz. použitá literatura [L17]

K lokalizaci na senzorové smyčce se mezi začátkem a koncem vloží napětí U_{ges} . Toto napětí se vlhkostní chybou rozdělí na dvě napětí U_1 a U_2 . Napětí U_1 mezi začátkem a chybou bude naměřeno na začátku mezi vodičem a potrubím.

U_1	Dílčí napětí mezi začátkem senzorového vodiče a poruchou
U_{ges}	Celkové lokalizační napětí
R_1	Dílčí odpor senzorového vodiče po poruchu
R_{ges}	Celkový odpor senzorového vodiče
$X\%$	Výsledek lokalizace v procentech
I	Vzdálenost poruchy
L	Celková délka potrubí

Rovnice pro výsledku lokalizace poruchy v procentech:

$$\frac{U_1}{U_{ges}} = \frac{R_1}{R_{ges}} = \frac{X \%}{100 \%} = \frac{I}{L}$$

Vzdálenost I poruchy se vypočítá:

$$I = \frac{L \cdot X \%}{100}$$

Na základě této metody, je měřicí přístroj schopen detekovat poruchu s přesností na 5m.

Měřících přístrojů je na trhu celá řada a kombinace jednotlivých měřících postupů záleží spíše na požadavku investora dle jeho zvyklostí. Základní rozdělení přístrojů je:

- Indikační (zjistí pouze existenci poruchy)
- Lokační (dokážou zjistit místo a velikost poruchy)

Dále je možné dělit je na:

- Přenosné (indikační měřidla, nebo profesionální vybavení používané specializovanými pracovišti)
- Stablní (většinou lokační, v časových intervalech monitorují potrubní soustavu)

Délka jedné měřící sekce by neměla přesáhnout rozvinutou délku smyčky 2500m. Data z jednotlivých měřících smyček jsou převážně modemově přenášena na centrální panel (PC na dispečinku). Současně s kvalitním systémem detekce poruchy, by měly být k dispozici kvalitní informace o realizované trase potrubí, především geodetické zaměření osy přívodního a vratného potrubí s montážními spojkami. Potom je možné detekovat

místo poruchy brzy po jejím vzniku, včas poruchu odstranit a zjistit její příčinu. Jedině takto lze zajistit vysokou spolehlivost a dlouhou životnost celé tepelné sítě.

6. Čerpací práce nové tepelné sítě

Dalším z toků energie, který přestavbou parní sítě na horkovodní tepelnou síť dozná výrazné změny, jsou bilance vlastní spotřeby elektrické energie. Horkovodní síť potřebuje ke svému provozu zajistit pohon oběhových čerpadel. Tato čerpadla, by měla být doplněna frekvenčním měničem pro regulaci výkonu.

Čerpací práce jsou dány:

- Dopravní výškou [m]
- Dopravovaným množstvím [kg/s nebo t/h]

Výpočet dopravovaného množství média bude proveden výpočtovým programem RT007 pro jednotlivé měsíce dosazením korekčního součinitele a teploty přívodního potrubí (viz kapitola 4.6). Z výpočtu bude patrné oběhové množství média a největší tlaková ztráta v přívodním potrubí. Vzhledem ke skutečnosti, že ve všech úsecích je navržena stejná dimenze přívodního i vratného potrubí bude program vykazovat stejnou tlakovou ztrátu v přívodním i vratném potrubí stejnou. Tento rozdíl vyplývá z uvažování průměrné hustoty média (aritmetický průměr mezi hustotou v přívodní a vratné větvi).

Hodnoty ve výpočtu:

m – průtok média	[kg/s]
t – teplota média v přívodu a vratu	[°C]
K - korekční součinitel	[-]
Tlaková ztráta př + vr	[kPa]
H – dopravní výška čerpadel (výška vodního sloupce)	[m v. sl.]

Převodní vztah mezi tlakovou ztrátou a dopravní výškou

$$1 \text{ MPa} = 1000 \text{ kPa} = 98,1 \text{ m vsl} .$$

m	Tlaková ztráta př+vr	t _{př}	t _{vr}	K	Měsíc
535,96	403,9	120	70	0,648	Leden
496,26	346,3	120	70	0,600	Únor
510,73	365,5	110	70	0,494	Březen
483,85	326,9	100	70	0,351	Duben
434,23	262,4	90	70	0,210	Květen
332,91	152,4	70	50	0,161	Červen
332,91	152,4	70	50	0,161	Červenec
332,91	152,4	70	50	0,161	Srpen
332,91	152,4	70	50	0,161	Září
456,28	290,7	100	70	0,331	Říjen
501,43	352,3	110	70	0,485	Listopad
494,61	344,0	120	70	0,598	Prosinec

Tabulka č. 6.20 Výpočet tlakové ztráty a dopravovaného množství nové horkovodní sítě

Dopravované množství se v technické praxi udává spíše v jednotkách t/h.

m [t/h]	[kg/s]	Měsíc
1 929,46	535,96	Leden
1 786,54	496,26	Únor
1 838,63	510,73	Březen
1 741,86	483,85	Duben
1 563,23	434,23	Květen
1 198,48	332,91	Červen
1 198,48	332,91	Červenec
1 198,48	332,91	Srpen
1 198,48	332,91	Září
1 642,61	456,28	Říjen
1 805,15	501,43	Listopad
1 780,60	494,61	Prosinec

Tabulka č. 6.21 Převod dopravovaného množství

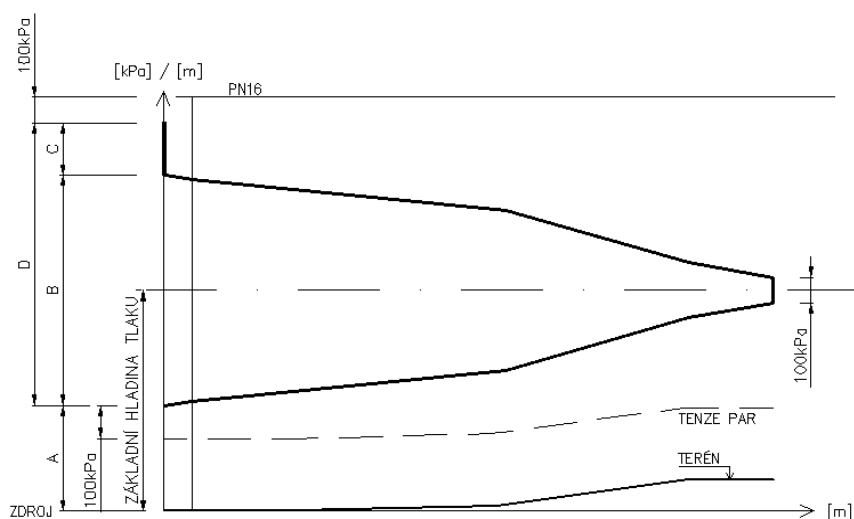
Kromě provozních stavů musí být oběhová čerpadla dimenzována na provoz sítě při maximálním výkonu. Tento maximální výkon odpovídá součiniteli K=0,890 při teplotním spádu 130/70°C.

Potom jsou provozní parametry následující:

- Největší tlaková ztráta 531,0 kPa
- Dopravovaným množstvím 613,43 kg/s = 2 208,35 t/h

Pro stanovení dopravní výšky je třeba určit rozevření tlakového diagramu. To se skládá z:

- Tlaková ztráta zdroje – bývá 100 – 200 kPa volíme 200kPa
- Tlaková ztráta přívodního potrubí z výpočtu viz výše
- Tlaková ztráta hydraulicky nejvzdálenějšího bodu volíme 100 kPa
- Tlaková ztráta vratného potrubí z výpočtu viz výše



Obrázek č. 6.13 Schéma tlakového diagramu horkovodní sítě.

Kde:

- A – tlak vratného potrubí na vstupu do zdroje
- B – rozevření tlakového diagramu
- C – tlaková ztráta zdroje
- D – celková dopravní výška oběhových čerpadel

Pro každý z měsíců určíme dopravní výšku čerpadel:

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
H dopr	110,78	99,26	103,1	95,38	82,48	60,48	60,48	60,48	60,48	88,14	100,46	98,8

Tabulka č. 6.22 Výpočet dopravní výšky oběhových čerpadel.

Maximální provozní parametry jsou následující:

Největší tlaková ztráta	136 m
Dopravovaným množstvím	613,43 kg/s = 2 208,35 t/h

Z výpočtu je patrné, že čerpadla musí být navržena podle maximálních smluvních odběrů. Provozní hodnoty však budou jiné a čerpací práce se budou měnit podle aktuální potřeby tepla a teploty přívodní větve. Regulace tepelné sítě bude probíhat, jak změnou teploty přívodní větve, tak změnou oběhového množství média v potrubí.

Tlakový diagram bude posazen cca 100kPa nad úroveň tenze par, což zajistí, že se médium nebude v potrubí odpařovat. Dopravní výška představuje součet hodnot B+C. Současně musí být rozevření tlakového diagramu o cca 100kPa níže, než je tlaková úroveň PN16.

Základní hladina tlaku (též označovaná jako hladina konstantního statického tlaku) je pomyslná osa mezi přívodním a vratným potrubím. Tento tlak je v potrubí udržován po odstavení oběhových čerpadel.

Pro potřeby diplomové práce ke stanovení čerpacích prací byla o nabídku čerpadla požádána firma RENETRA s.r.o., Náměstí Osvobození 6, Hranice IV-Drahotuše. Nabídka je uvedena jako příloha č. 11. Jako oběhová čerpadla nové horkovodní sítě jsou navržena čerpadla CDS 250-600 s motorem IEC 400L o výkonu 500kW. Podrobnější technické údaje jsou uvedeny v příloze č.11. Pro výše uvedené oběhové množství média jsou navržena do nové výměňkové stanice pára-voda ve zdroji tepla tři oběhová čerpadla, dvě čerpadla jako provozní a třetí záložní. Během roku by měla být postupně v provozu všechna tři čerpadla tak, aby byla zajištěna spolehlivá funkce všech tří kusů.

Součástí nabídky je výkonová charakteristika čerpadla, která udává množství energie potřebné k pohonu čerpadel během jednotlivých provozních stavů. Odečtením z charakteristiky jsou zjištěny výkony pro provoz čerpadel a zapsány do tabulky.

Veličiny uvedené v tabulce:

$P_{\text{čerp}}$	– elektrický výkon dvou čerpadel	[kW]
Počet dnů	– v jednotlivých měsících	[-]
$Q_{\text{čerp}}$	– množství energie pro oběhová čerpadla	[MWh]

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$P_{\text{čerp}}$	850	790	825	785	740	640	640	640	640	760	820	790
Počet dnů	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{\text{čerp}}$	632,4	530,9	613,8	565,2	550,6	460,8	476,2	476,2	460,8	565,4	590,4	587,8

Tabulka č. 6.23 Odečtené výkony čerpadel v jednotlivých měsících.

Tyto výkony jsou vynásobeny počtem hodin v jednotlivých měsících (počet dnů · 24 hodin) a převedeny na jednotku MWh. Po provedení výpočtu v jednotlivých měsících bude vypočteno celkové množství energie pro pohon oběhových čerpadel.

$$Q_{\text{čerp}} / \text{rok} = \sum Q_{\text{čerp}} = 6510,4 \text{ MWh}$$

V nové výměňkové stanici bude umístěno další zařízení, které vyžaduje elektrickou energii. Předpokládáme, že množství vlastní spotřebované elektrické energie ve zdroji tepla bude o cca 30% vyšší než $\sum Q_{\text{čerp}} / \text{rok}$. Proto vypočteme celkové množství energie pro výměňkovou stanici pára-voda $Q_{\text{EIVým}}$ [MWh].

$$Q_{\text{EIVým}} = Q_{\text{čerp}} \cdot 1,3 = 8463,52 \text{ MWh}$$

7. Bilance potřeb energií nové tepelné sítě

Vzhledem ke skutečnosti, že přestavbou tepelné sítě dojde ke změně tepelných ztrát, toku energie potřebné na čerpací práce atd. Je třeba stanovit toky energie nové tepelné sítě po přestavbě.

7.1 Stávající bilance tepla z roku 2010

Pro stanovení toku energií budu vycházet ze Sankeyova diagramu toku energií do CZT za rok 2010 poskytnutých provozovatelem tepelné sítě. Potřeby tepla se mění každým rokem v závislosti na venkovní teplotě a stavu vytápěných objektů, především panelových domů. V posledních letech doznávají především právě panelové domy změn spočívajících v zateplování obvodového pláště budovy, výměny oken a rekonstrukce topných soustav což má za následek snížení potřeb tepla budovy o 30-50%.

Tok energie ze Sankeyova diagramu.

Q	Název veličiny	spotřeba	
		[GJ/rok]	[%]
Q _{pal}	Množství tepla v palivu	4 725 211	100,00
Q _{kotlů ztr}	Tepelná ztráta kotlů	729 004	15,43
Q _{vyrobeno}	Množství tepla vyrobeného	3 996 207	84,57
	Vlastní spotřeba	141 703	3,00
Q _{tep}	Množství tepla pro dodávky tepla	1 398 837	29,60
Q _{el}	Množství tepla pro výrobu elektřiny	2 455 667	51,97
Q _{ost}	Ostatní odběry/ztráty tepla	35 640	0,75
Q _{ct}	Celkové teplo dodané do tepelné sítě	1 363 197	28,65
Q _{ztr P}	Tepelná ztráta parovodu	262 916	5,56
Q _{dod P}	Dodávka tepla odběratelům v páře	973 297	20,60
Q _{už}	Užitková pára Precheza 2,0 MPa	5 644	0,12
Q _{ztr HV}	Tepelná ztráta horkovodu - stávajícího	3 915	0,08
Q _{dod HV}	Dodávka tepla odběratelům v horké vodě	117 425	2,49
Q _{chlad}	Teplo odvedené chladicí věží	1 546 057	32,72
Q _{spotř EL}	Vlastní spotřeba elektrické energie	157 169	3,33
Q _{dodávka EL}	Dodávka elektrické energie do sítě	750 441	15,88

Tabulka č. 7.24 Výpis hodnot ze Sankeyova diagramu toku energií

V následujícím popisu jednotlivých veličin budu popisovat jednotlivé toky a určovat jakým způsobem bude tok energie změněn.

Množství tepla v palivu (Q_{pal}) je celková chemická energie uvolněná spálením daného množství paliva. Teplota spalin je stále vyšší než rosný bod ve spalinách, proto bude množství uvolněného tepla odpovídat vzorci:

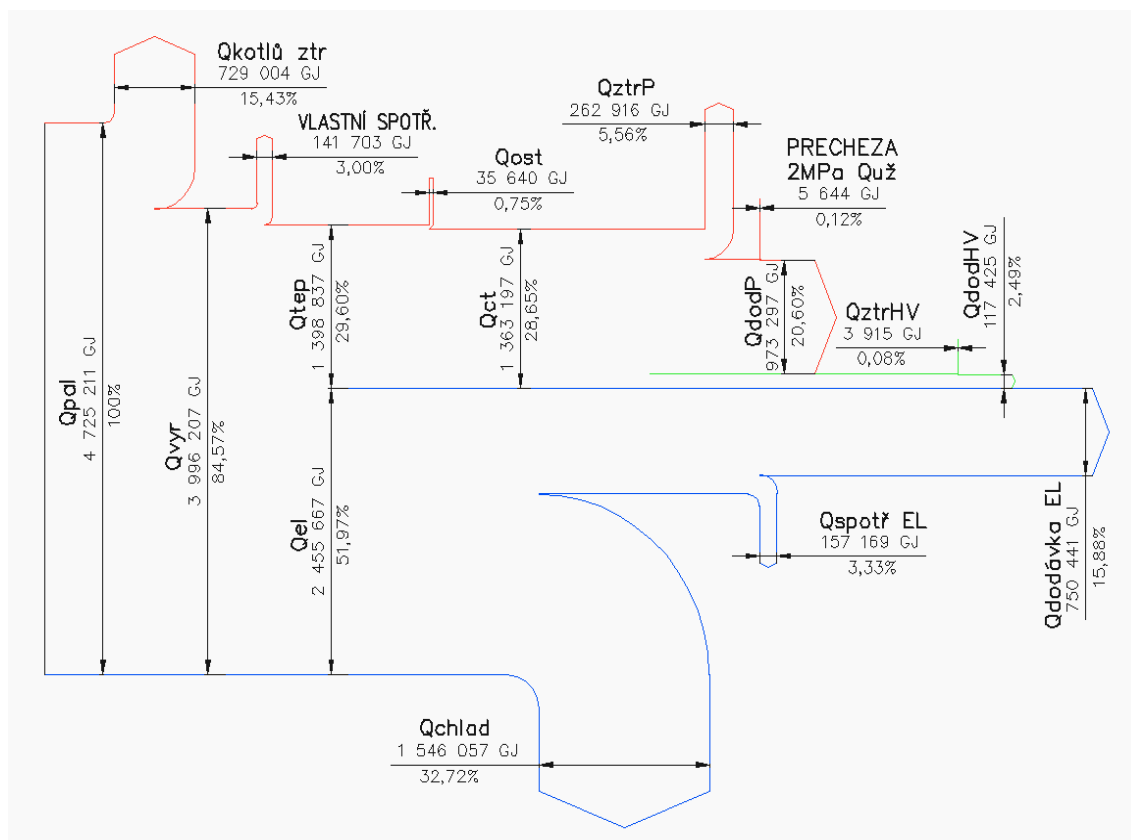
Množství tepla uvolněného spálením množství paliva:

$$Q_{pal} = m_B \cdot Q_i$$

Kde:

Q_i Výhřevnost paliva [KJ/kg]

m_B Množství paliva



Obrázek č. 7.14 Sankeyův diagramu toku energií – stávající stav za rok 2010

V teplárně Přerov se jako primární palivo používá Ostravský proplástek a jako doplňkové palivo se používá Biomasa ve formě dřevního odpadu. Provozovatel teplárny poskytnul pro potřeby diplomové práce informace o spotřebě paliv (m_B) za rok 2010.

Ostravský proplástek 253 641,0 tun / rok

Biomasa 914,2 tun / rok

Výhřevnost paliva bude stanovena pomocí Mendělejevovy rovnice. Po výpočtovém stanovení výhřevnosti paliva bude hodnota výhřevnosti porovnána s hodnotou skutečného tepla uvolněného spaláním uvedeného množství paliva. O složení paliva bude podrobněji psáno v dalších kapitolách, včetně přepočtu prvkového složení paliva.

Název	Surové palivo						
	W_t^r	A^r	H^r	C^r	S^r	N^r	O^r
Jednotka	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Proplástek	8,47	34,20	2,94	47,95	0,57	0,71	5,26

Tabulka č. 7.25 Složení paliva – Ostravský proplástek

Název	Surové palivo						
	W_t^r	A^r	H^r	C^r	S^r	N^r	O^r
Jednotka	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Biomasa	13,60	5,99	4,98	40,61	0,00	0,48	34,34

Tabulka č. 7.26 Složení paliva – Biomasa

Výpočet výhřevnosti pomocí Mendělejevovy rovnice – Proplástek

$$Q_i^r = 339 \cdot C^r + 1030 \cdot H_2^r - 109 \cdot (O_2^r - S^r) - 24,5 \cdot W^r =$$

$$Q_i^r = 339 \cdot 47,95 + 1030 \cdot 2,94 - 109 \cdot (5,26 - 0,57) - 24,5 \cdot 8,47 =$$

$$Q_i^r = 18,56 \text{ MJ / kg}$$

Výpočet výhřevnosti pomocí Mendělejevovy rovnice - Biomasa

$$Q_i^r = 339 \cdot C^r + 1030 \cdot H_2^r - 109 \cdot (O_2^r - S^r) - 24,5 \cdot W^r =$$

$$Q_i^r = 339 \cdot 40,61 + 1030 \cdot 4,98 - 109 \cdot (34,34 - 0,00) - 24,5 \cdot 13,60 =$$

$$Q_i^r = 14,82 \text{ MJ / kg}$$

Množství tepla uvolněného spálením množství paliva - Proplástek:

$$Q_{pal} 1 = (m_B 1 \cdot Q_i^r 1) = 253641 \cdot 18,56 = 4707576,96 \text{ GJ}$$

Množství tepla uvolněného spálením množství paliva - Biomasa:

$$Q_{pal} 2 = (m_B 2 \cdot Q_i^r 2) = 914,16 \cdot 14,82 = 13547,85 \text{ GJ}$$

Suma:

$$Q_{pal} = Q_{pal} 1 + Q_{pal} 2 = 4707576,96 + 13547,85 = 4721124,81 \text{ GJ}$$

Vzhledem k relativně malé odchylce mezi vypočteným a skutečným množstvím uvolněného tepla zpětným přepočtem upravím hodnotu výhřevnosti proplástek. Výhřevnost biomasy zaokrouhlím na 14,8MJ/kg a výhřevnost proplástek spočítám.

$$Q_{i\text{ pal}} 1 = \frac{(m_B 2 \cdot Q_{pal} 2) - Q_{pal}}{m_B 1} = \frac{(914,16 \cdot 14,8) - 4725211}{253641} = 18,576 \text{ MJ / kg}$$

Výhřevnost proplástek do výpočtů volíme 18,576MJ/kg

Množství tepla v palivu bude po přestavbě nižší. Vzhledem ke skutečnosti, že biomasa je omisivně neutrální, zachováme množství spalované biomasy a snížíme množství proplástek.

Další hodnotou v diagramu je tepelná ztráta kotlů ($Q_{\text{kotlů ztr}}$). Tato ztráta bude po přestavbě snížena. Vzhledem k menšímu množství tepla v palivu bude ztráta kotlů nižší. Procentuální ztráta kotlů zůstane zachována. Bude pouze zaokrouhlena na 13,5%.

Množství tepla z paliva bez ztráty kotlů je celkové teplo jdoucí do výroby (Q_{vyrobeno}).

Vlastní spotřeba tepla v teplárně Přerov zůstane zachována. Množství tepla pro vlastní spotřebu zaokrouhlíme na 142 000 GJ/rok

Tok energií se dělí na teplo pro elektrickou část výroby (Q_{el}) a tepelnou část výroby (Q_{tep}). Vzhledem ke skutečnosti že cílem práce je snížit emise vypuštěných plynů ze zdroje tepla bude uvažováno pouze s variantou, kdy dojde ke snížení výroby tepla z paliva. Pro výpočty budeme uvažovat se zachováním účinnosti kombinované výroby a zachováním modulu teplárenské výroby. Jestliže dojde v nižších úrovních ke snížení potřeb tepla v tepelné části výroby, úměrně tomu se sníží i výroba tepla pro elektrickou část výroby. Alternativně by bylo možné využít úspor tepla pro zvýšení účinnosti turbíny v nízkotlakých stupních. Tato varianta bude podrobněji popsána v závěru kapitoly.

Účinnost η_c při kombinované výrobě tepla a elektrické energie:

$$\eta_c = \frac{Q_{\text{tep}} + Q_{\text{el}}}{(m_{B1} \cdot Q_{i1}) + (m_{B2} \cdot Q_{i2})} = \frac{1398837 + 2455667}{(253641 \cdot 18,576) + (914,16 \cdot 14,8)} =$$

$$\eta_c = 0,81574$$

Modul teplárenské výroby:

$$e = \frac{Q_{\text{el}}}{Q_{\text{tep}}} = \frac{2455667}{1398837} = 1,7555$$

Elektrická část toku energií se skládá z tepla odvedeného do chladících věží, na vlastní spotřebu a dodávku do sítě. Teplo odvedené do chladících věží bude při přepočtu na nový stav vypočítáno jako 33% z Q_{el} . Vlastní spotřeba ($Q_{\text{spotř EL}}$) se zvětší o čerpací práce nové výměňkové stanice a oběhové stanice ve zdroji tepla. Výsledná dodávka do veřejné sítě bude s největší pravděpodobností nižší než v současnosti.

V rámci toků energií v tepelné části diagramu vyskytuje položka Q_{ost} . Velikost této dodávka tepla ($Q_{\text{ost}} 35\,600 \text{ GJ}$) bude zachována.

Tepelná ztráta parovodu bude po přestavbě na horkovodní síť podstatně nižší. Tepelné ztráty řeší samostatně kapitola č.4. Dodávka do firmy Precheza zůstane zachována. Do výpočtu bude uvažováno s 5 700 GJ. Potřeby tepla pro stávající horkovodní síť zůstanou zachovány.

7.2 Nové bilance tepla po přestavbě na horkovod

Přestavbou stávající tepelné sítě na horkovod dojde ke změně toku energie. Přepočtem toku energie získáme spotřebu paliva, které bude použito k výrobě tepla.

Do tabulky budou nejdříve zapsány hodnoty, které se nemění. Poté budou doplněny další údaje podle výsledků výpočtů viz. níže. Označení parovodu v tabulce se změní na horkovod (HV).

Tok energie ze Sankeyova diagramu.

Q	Název veličiny	spotřeba	
		[GJ/rok]	[%]
Q _{pal}	Množství tepla v palivu	3 983 721	100,00
Q _{kotlů ztr}	Tepelná ztráta kotlů	597 558	15,00
Q _{vyrobeno}	Množství tepla vyrobeného	3 386 163	85,00
	Vlastní spotřeba	142 000	3,56
Q _{tep}	Množství tepla pro dodávky tepla	1 177 341	59,55
Q _{el}	Množství tepla pro výrobu elektřiny	2 066 822	51,88
Q _{ost}	Ostatní odběry/ztráty tepla	35 600	0,89
Q _{ct}	Celkové teplo dodané do tepelné sítě	1 141 741	28,66
Q _{ztr HV}	Tepelná ztráta horkovodu - nového	44 626	1,12
Q _{dod HVn}	Dodávka tepla odběratelům v horké vodě	970 000	24,35
Q _{už}	Užitková pára Precheza 2,0 MPa	5 700	0,14
Q _{ztr HVs}	Tepelná ztráta horkovodu - stávajícího	3 915	0,10
Q _{dod HVs}	Dodávka tepla odběratelům v horké vodě	117 500	2,95
Q _{chlad}	Teplo odvedené chladicí věží	1 302 098	32,69
Q _{spotř EL}	Vlastní spotřeba elektrické energie	186 638	4,69
Q _{dodávka EL}	Dodávka elektrické energie do sítě	578 086	14,74

Tabulka č. 7.27 Výpis hodnot ze Sankeyova diagramu toku energií – po přestavbě na horkovod

Ze známého modulu teplárenské výroby a potřeby tepla pro tepelnou část toku energie vypočítám množství tepla pro elektrickou část toku energií:

$$Q_{el} = e \cdot Q_{tep} = 1,7555 \cdot 1177341 = 2066822 \text{ GJ / rok}$$

Z této hodnoty bylo vypočítáno teplo odvedené chladicí věží. Dále bylo vypočítáno zvýšení vlastního odběru elektrické energie způsobené napájením oběhových čerpadel

elektrickou energií. V kapitole č. 6 je proveden výpočet čerpacích prací nových oběhových čerpadel ve zdroji tepla. Tyto čerpací práce byly převedeny z jednotek MWh na jednotky GJ/rok. Výsledkem je zvýšení vlastní spotřeby energie o 30 469 JG/rok.

Z uvedených výpočtů je možné vypočítat dodávku elektrické energie do sítě.

$$Q_{\text{dodávka el}} = Q_{\text{el}} - (Q_{\text{spotř el}} + Q_{\text{chlad}}) = 2066822 - (186638 + 1302098)$$

$$Q_{\text{dodávka el}} = 578086 \text{ GJ / rok} = 160580 \text{ MWh / rok}$$

Výsledky byly postupně zapisovány do tabulky.

7.3 Závěr nových bilancí tepla po přestavbě na horkovod

Po odečtení množství tepla v palivu podle stávajícího stavu a po přestavbě tepelné sítě vyplývá, že úspora energie činí 741 490 GJ. Množství takto uspořené paliva bude vyčísleno vyjádřením množství paliva m_{B1} ze vzorce pro stanovení účinnosti kombinované výroby. Palivo, ve kterém budeme hledat úsporu je což je Ostravský proplástek. Množství spotřebované biomasy zůstane konstantní.

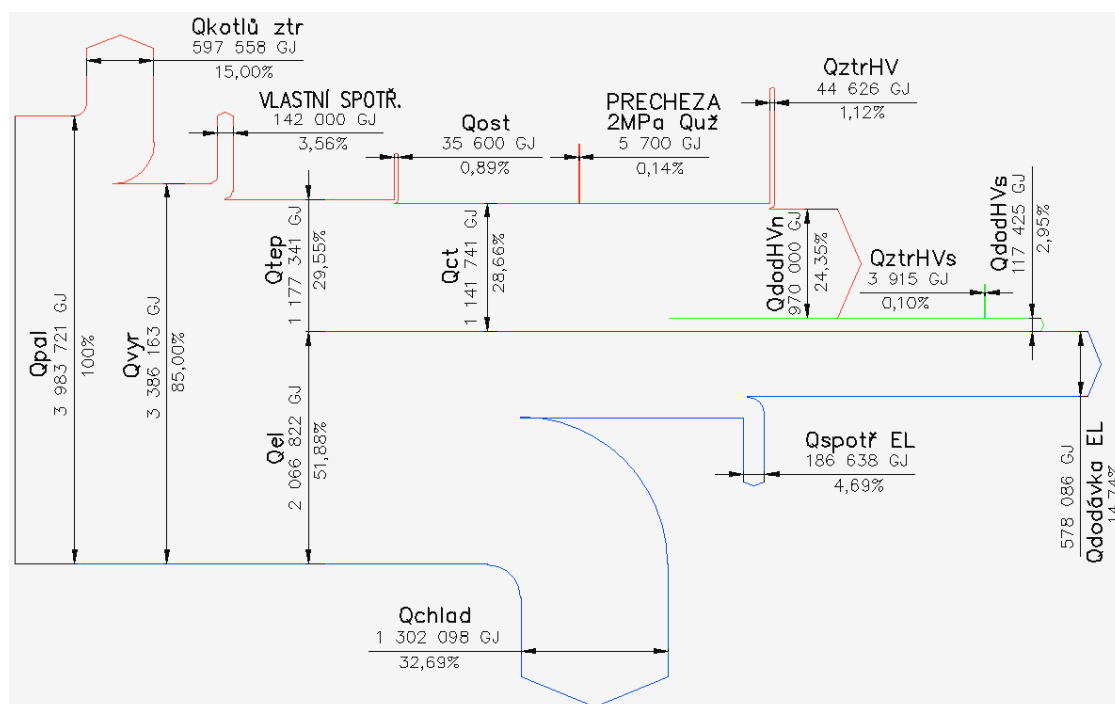
$$\eta_c = \frac{Q_{\text{tep}} + Q_{\text{el}}}{(m_{B1} \cdot Q_{i1}) + (m_{B2} \cdot Q_{i2})} \Rightarrow m_{B1} = \frac{\frac{Q_{\text{tep}} + Q_{\text{el}}}{\eta_c} - (m_{B2} \cdot Q_{i2})}{Q_{i1}}$$

$$m_{B1} = \frac{\frac{1177341 + 2066822}{0,81574} - (914,16 \cdot 14,8)}{18,576} = 199046,56 \text{ tun / rok}$$

9

Z předchozího výpočtu vyplývá, že spotřeba paliva se sníží na 199 047 tun/rok paliva (po zaokrouhlení). **Při současné spotřebě paliva 253 641 tun za rok činí úspora 54 594 tun/rok což je o 21,5% méně.**

Z tabulky nového toku energií byl sestaven nový Sankeyův diagram.



Obrázek č. 7.15 Sankeyův diagramu toku energií – nová horkovodní tepelná síť.

Tato úspora způsobená přestavbou stávající parní sítě na horkovodní tepelnou síť je při zachování stávající účinnosti výroby tepla a elektrické energie maximální. Současně byl zachován modul teplárenské výroby.

Alternativně lze změnit provoz zdroje tepla jiným způsobem, a to zachováním výroby tepla a zvýšením průtoku páry v nižších stupních turbíny TG1 za I. Regulovaným odběrem. Zjednodušeným výpočtem bude stanoveno množství elektrické energie, které by bylo možné vyrobit za předpokladu zachování množství vyrobeného tepla. Pro výpočet bude zjednodušeně stanovena účinnost výroby elektrické energie. Dosazované hodnoty budou odpovídat stávajícímu stavu za rok 2010.

$$\eta_{el} = \frac{Q_{spot} + Q_{dodavka}^{el}}{Q_{el}} = \frac{157169 + 750441}{2455667} = 36,96 \% \cong 37 \%$$

Stávající účinnost výroby elektrické energie je přibližně 37%.

Jestliže budeme předpokládat, že se zvýší celkové množství tepla pro výrobu elektrické energie a zachováme stávající účinnost výroby, změní se nám množství vyrobené elektrické energie.

$$Q_{el} = Q_{vyr\ 2010} - vl.Spot\ ř - Q_{tep_nová} = 3996207 - 142000 - 1177341 =$$

$$Q_{el} = 2676866\ GJ / rok$$

Množství elektrické energie dodané do elektrické sítě bude vypočítáno dle následujícího vzorce:

$$Q_{dodávka\ el} = (\eta_{el} \cdot Q_{el}) - Q_{spot\ ř} = (0,37 \cdot 2676866) - 186638 =$$

$$Q_{dodávka\ el} = 803802,4\ GJ / rok$$

Množství energie dodané do sítě se při tomto způsobu provozování zdroje tepla (Teplárny Přerov) se zvýší o 225 716,4 GJ/rok, nedojde však ke snížení množství spalin produkovaných při výrobě tepla.

Pro zachování jednotné jednotkové soustavy je množství elektrické energie počítáno v jednotkách GJ. V praxi se však používají jednotky MWh. Přepočet jednotek je možné provádět podle následujících vztahů:

$$GJ = \frac{MWh}{3,6} \Leftrightarrow MWh = GJ \cdot 3,6$$

Skutečný provoz teplárny se může po přestavbě pohybovat v rozmezí úspory paliva od 0% do 21,5%. Výroba elektrické energie se může podle bilančního orientačního výpočtu pohybovat od -15,7% do +9,1% oproti stávajícímu stavu podle bilancí toků energií za rok 2010.

Cílem diplomové práce je zjištění maximální možné úspory vypouštěných spalin ze zdroje tepla při zachování celkové účinnosti zdroje tepla. Z tohoto důvodu není alternativní možnost se zvýšením průtoku páry zvýšením průtoku páry v nižších stupních turbíny TG1 za I. Regulovaným odběrem dále rozpracována. V dalších kapitolách se budu zabývat pouze množstvím vypouštěných spalin do ovzduší. Skutečný stav bude učen ekonomickými výpočty provozovatele zdroje tepla.

8. Stechiometrický výpočet množství vypuštěných emisí skleníkových plynů

Stechiometrický výpočet množství vzniklých spalín je prováděn podle skriptu „Spalování uhlí“ viz. použitá literatura [L18]

8.1 Metodika výpočtu

Výpočet množství spalín je prováděn hmotnostně v jednotkách kg/kg. Z toho vyplývá, že veškeré výpočty budou prováděny v 1kg spalín na 1kg paliva a v závěru výpočtu vynásobeny množstvím paliva. Spotřebovaného celkem.

Nejdříve je třeba stanovit složení paliva, které budeme počítat. Toto složení stanovíme přepočtem mezi údaji dodanými provozovatelem zdroje tepla a kvalitativními listy paliva z roku 2010. Hlavní používané palivo je Proplástek o zrnitosti 0-30mm. Pro výpočet bude uvažováno s Proplástkem z dolu Karviná – závod Lazy, viz příloha č. 12.

Současně s Proplástkem je v kotlích spalována biomasa v podobě dřevního dopadu.

V teplárně Přerov se nachází palivová laboratoř vybavená na provádění hrubých palivových rozborů. Z těchto rozborů byly provozovatelem poskytnuty informace o složení paliva.

Proplástek:		Biomasa:	
Hořlavina	$h = 57,33\%$	Hořlavina	$h = 80,41\%$
Popelovina	$A = 34,20\%$	Popelovina	$A = 5,99\%$
Voda	$W = 8,47\%$	Voda	$W = 13,60\%$

Složení hořlaviny propláستku bylo zjištěno z elementární analýzy uvedené na kvalitativním listu paliva. Vzhledem ke skutečnosti, že suma elementů hořlaviny z údajů provozovatele je 57,33% a z kvalitativního listu 53,10% je třeba provést přepočet jednotlivých stavů. Při přepočtu stavů budeme vycházet z obecných rovnic mezi vzorkem paliva v surovém stavu označovaném horním indexem „r“ a analytickém vzorku označovaném horním indexem „a“. Informace z hrubého palivového rozboru budeme považovat za analytický vzorek a složení hořlaviny v elementární analýze z kvalitativních listů za surový vzorek.

Přepočet mezi jednotlivými stavy paliva bude poté proveden pomocí následujících vztahů:

Základní vztah pro přepočet všech veličin ze surového vzorku na analytický.

$$r \rightarrow a \Rightarrow x^r = x^a \cdot \left(\frac{1 - W^r}{1 - W^a} \right)$$

Z uvedené rovnice je možné vyjádřit opačný přepočet:

$$a \rightarrow r \Rightarrow x^a = \frac{x^r}{\left(\frac{1 - W^r}{1 - W^a} \right)}$$

Po stanovení složení paliva je možné zahájit výpočet množství spalovacího vzduchu a následně i množství spalin. Množství jednotlivých prvků se do výpočtu zadává v procentech.

Výpočet množství spalovacího vzduchu a jednotlivých produktů spalování budou popsány v konkrétních kapitolách.

Citace: Spalování uhlí Pavel Noskovič. Použitá literatura [L18]. „Škodliviny lze rozdělit do tří skupin. Do první skupiny patří škodliviny, jejichž emise jsou dány složením uhlí a které nelze vůbec, nebo jen omezeně ovlivnit kvalitou spalovacího procesu. Sem patří z nejvýznamnějších škodlivin SO_2 , tuhé částice, Cl, F, toxické kovy.

Do druhé skupiny patří škodliviny, vznikající při spalování a jejichž vznik lze zcela, nebo částečně ovlivnit kvalitou spalovacího procesu. Patří sem oxid uhelnatý, jehož emise v extrémních případech dosahují i několika procent a vždy znamenají snížení účinnosti spalování v důsledku nevyužití tepla, obsaženého v tomto hořlavém plynu. Dále patří do této skupiny oxidy dusíku.

Třetí skupinu tvoří oxid uhličitý. Oficiálně dosud není zařazen ke škodlivinám, jeho vliv tzv. skleníkového efektu je všeobecně znám. Specifické postavení oxidu uhličitého spočívá v tom, že hlavní složkou fosilních paliv je uhlík, jehož dokonalým spálením oxid uhličitý vzniká.“

8.2 Přepočet složení paliva

Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly, je třeba stanovit výpočtové složení paliva. Z údajů hrubého palivového rozboru poskytnutého provozovatelem teplárny Přerov a kvalitativních listů paliva je třeba stanovit složení hořlaviny. Přepočet byl proveden podle výše uvedeného vzorce.

Zvýrazněné hodnoty v tabulce složení paliva budou postupně dosazovány do výpočtu. Složení paliva je proměnné, proto jsou výpočty pouze orientační vycházející z průměrných hodnot.

Proplástek:	skutečné	z kvalit. listu	Hořlavina:	skutečné	z kvalit. listu
Hořlavina	h = 57,33 %	h = 53,10 %	C	47,95 %	44,41 %
Popelovina	A = 34,20 %	A = 35,40 %	H ₂	2,94 %	2,63 %
Voda	W = 8,47 %	W = 11,50 %	N ₂	0,71 %	0,66 %
			S	0,57 %	0,53 %
			O ₂	5,26 %	4,87 %

Tabulka č. 8.28 Přepočet složení paliva - Proplástek

Informace o složení biomasy (hrubý palivový rozbor) byl poskytnut provozovatelem zdroje tepla – teplárny Přerov. Chemické složení hořlaviny je u dřevní hmoty téměř stejné ať se jedná o jehličnaté či listnaté druhy dřevní hmoty. Do výpočtu je uvažováno se smíšeným dřevem.

Biomasa:	skutečné	Hořlavina:	skutečné
Hořlavina	h = 80,41 %	C	40,61 %
Popelovina	A = 5,99 %	H ₂	4,98 %
Voda	W = 13,60 %	N ₂	0,48 %
		S	0,00 %
		O ₂	34,34 %

Tabulka č. 8.29 Přepočet složení paliva - Biomasa

8.3 Výpočet množství spalin Proplásteku

Výpočet bude proveden podle následujících vzorců. Uvedené množství spalin je v jednotkách kg spalin/kg paliva.

Výpočet kyslíku pro spalování teoretického - suchého.

$$V_{O_2, t} = \frac{32}{12} \cdot C + \frac{16}{2} \cdot H_2 + \frac{32}{32} \cdot S - \frac{32}{32} \cdot O_2$$

$$V_{O_2, t} = \frac{32}{12} \cdot 0,4795 + \frac{16}{2} \cdot 0,0294 + \frac{32}{32} \cdot 0,0057 - \frac{32}{32} \cdot 0,0526 = 1,467 \text{ kg / kg}$$

Z potřebného množství kyslíku vypočítáme množství spalovacího vzduchu teoretického -suchého.

$$V_{vz,t}^S = \frac{V_{O_2,t}}{0,231} = \frac{1,467}{0,231} = 6,3505 \text{ kg / kg}$$

Množství spalovacího vzduchu skutečného – suchého

$$V_{vz,S}^S = V_{vzT}^S \cdot n = 6,3505 \cdot 1,175 = 7,4618 \text{ kg / kg}$$

Kde n = přebytek vzduchu (v teplárně Přerov se pohybuje v rozmezí 1,15 až 1,20 do výpočtu volím střední hodnotu 1,175)

Množství spalovacího vzduchu skutečného – vlhkého

$$V_{vz} = V_{vz}^S \cdot v$$

$$V_{vz} = 7,4618 \cdot 1,03 = 7,6857 \text{ kg / kg}$$

Kde v = vlhkost vzduchu, volím 1,03

Množství vzniklých spalin teoretických – suchých

$$V_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot C = \frac{44}{12} \cdot 0,4795 = 1,7582 \text{ kg / kg}$$

$$V_{SO_2} = \frac{64}{32} \cdot S = \frac{64}{32} \cdot 0,0057 = 0,0114 \text{ kg / kg}$$

$$V_{N_2} = \frac{28}{28} \cdot N_2 + 0,769 \cdot V_{vzT}^S = \frac{28}{28} \cdot 0,0071 + 0,769 \cdot 6,3505 = 4,8906 \text{ kg / kg}$$

Celkový objem spalin skutečných – suchých

$$V_{O_2} = 0,231 \cdot (n - 1) \cdot V_{vzT}^S = 0,231 \cdot (1,175 - 1) \cdot 6,3505 = 0,2567 \text{ kg / kg}$$

$$V_{spal}^S = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} = 1,7582 + 0,0114 + 4,8906 + 0,2567$$

$$V_{spal}^S = 6,9169 \text{ kg / kg}$$

Celkový objem spalin skutečných – vlhkých

$$V_{spal}^{VL} = V_{spal}^S + V_{H_2O} = 6,9169 + 0,3493 = 7,2662 \text{ kg / kg}$$

Kde

$$V_{H_2O} = \frac{18}{2} \cdot H_2 + \frac{18}{18} \cdot W = \frac{18}{2} \cdot 0,0294 + \frac{18}{18} \cdot 0,0847 = 0,3493 \text{ kg / kg}$$

Tyto hodnoty představují množství spalin vzniklých při spálení 1kg paliva.

Výsledky výpočtu byly zapsány do tabulky:

Složka	Množství [kg.kg ⁻¹]	Rovnice	Výpočet	V _{O₂t}	Spaliny [kg ⁻¹ .kg ⁻¹]				
					CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂	O ₂
C	0,4795	C+O ₂ =CO ₂	22,4/12.C 44/12.C	1,2787	1,7582				
H ₂	0,0294	H ₂ + 0,5.O ₂ = H ₂ O	22,4/4.H ₂ 18/2.H ₂	0,2352		0,2646			
S	0,0057	S + O ₂ = SO ₂	22,4/32.S 64/32.S	0,0057			0,0114		
O ₂	0,0526			-0,0526					
N ₂	0,0071							0,0071	
W	0,0847					0,0847			
N _{2,vz}		V _{O₂t} .(76,9/23,1).n						4,8835	
O _{2,př}		V _{O₂t} .(n-1)							0,2567
				1,4670	1,7582	0,3493	0,0114	4,8906	0,2567

Tabulka č. 8.30 Množství spalin - proplástek

Výpočet objemového množství spalin

$$\varpi_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{1,7582}{7,2662} \cdot 100 = 24,197\%$$

$$\varpi_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{0,0114}{7,2662} \cdot 100 = 0,1569\%$$

$$\varpi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{0,3493}{7,2662} \cdot 100 = 4,8072\%$$

$$\varpi_{\text{N}_2} = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{4,8906}{7,2662} \cdot 100 = 67,306\%$$

$$\varpi_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{0,2567}{7,2662} \cdot 100 = 3,5328\%$$

Referenční obsah kyslíku pro pevná paliva činí $\varpi_{O_2, \text{ref}} = 6\%$

Referenční obsah kyslíku je stanoven proto, aby nebylo možné vypouštění škodliviny naředit a tím vyhovět emisním limitům při zachování hmotového toku škodlivin.

$$CO_{2, \text{ref}} = CO_2 \cdot \frac{23,1 - \varpi_{O_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{O_2}} = 1,7582 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,5328} = 1,5365 \text{ kg / kg}$$

$$SO_{2, \text{ref}} = SO_2 \cdot \frac{23,1 - \varpi_{O_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{O_2}} = 0,0114 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,5328} = 0,0100 \text{ kg / kg}$$

$$H_2O_{, \text{ref}} = H_2O \cdot \frac{23,1 - \varpi_{O_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{O_2}} = 0,3493 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,5328} = 0,3053 \text{ kg / kg}$$

$$N_{2, \text{ref}} = N_2 \cdot \frac{23,1 - \varpi_{O_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{O_2}} = 4,8906 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,5328} = 4,2740 \text{ kg / kg}$$

8.4 Výpočet množství spalin Biomasy

Výpočet bude proveden podle výše uvedených vzorců. Uvedené množství spalin je v jednotkách kg spalin/kg paliva.

Výpočet kyslíku pro spalování teoretického - suchého.

$$V_{O_2, t} = \frac{32}{12} \cdot C + \frac{16}{2} \cdot H_2 + \frac{32}{32} \cdot S - \frac{32}{32} \cdot O_2$$

$$V_{O_2, t} = \frac{32}{12} \cdot 0,4061 + \frac{16}{2} \cdot 0,0498 + \frac{32}{32} \cdot 0 - \frac{32}{32} \cdot 0,3434 = 1,1379 \text{ kg / kg}$$

Z potřebného množství kyslíku vypočítáme množství spalovacího vzduchu teoretického -suchého.

$$V_{vz, t}^s = \frac{V_{O_2, t}}{0,231} = \frac{1,1379}{0,231} = 4,9261 \text{ kg / kg}$$

Množství spalovacího vzduchu skutečného – suchého

$$V_{vz, S}^s = V_{vz, T}^s \cdot n = 4,9261 \cdot 1,175 = 5,7882 \text{ kg / kg}$$

Kde n = přebytek vzduchu (v teplárně Přerov se pohybuje v rozmezí 1,15 až 1,20 do výpočtu volím střední hodnotu 1,175)

Množství spalovacího vzduchu skutečného – vlhkého

$$V_{VZ} = V_{VZ}^S \cdot v$$

$$V_{VZ} = 5,7882 \cdot 1,03 = 5,9618 \text{ kg / kg}$$

Kde v = vlhkost vzduchu, volím 1,03

Množství vzniklých spalin teoretických – suchých

$$V_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot C = \frac{44}{12} \cdot 0,4041 = 1,4890 \text{ kg / kg}$$

$$V_{SO_2} = \frac{64}{32} \cdot S = \frac{64}{32} \cdot 0 = 0 \text{ kg / kg}$$

$$V_{N_2} = \frac{28}{28} \cdot N_2 + 0,769 \cdot V_{vzT}^S = \frac{28}{28} \cdot 0,0048 + 0,769 \cdot 4,9261 = 3,7930 \text{ kg / kg}$$

Celkový objem spalin skutečných – suchých

$$V_{O_2} = 0,231 \cdot (n - 1) \cdot V_{vzT}^S = 0,231 \cdot (1,175 - 1) \cdot 4,9261 = 0,1991 \text{ kg / kg}$$

$$V_{spal}^S = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} = 1,4890 + 0 + 3,7930 + 0,1991$$

$$V_{spal}^S = 5,4811 \text{ kg / kg}$$

Celkový objem spalin skutečných – vlhkých

$$V_{spal}^{VL} = V_{spal}^S + V_{H_2O} = 5,4811 + 0,5842 = 6,0653 \text{ kg / kg}$$

Kde

$$V_{H_2O} = \frac{18}{2} \cdot H_2 + \frac{18}{18} \cdot W = \frac{18}{2} \cdot 0,0498 + \frac{18}{18} \cdot 0,1360 = 0,5842 \text{ kg / kg}$$

Výsledky výpočtu byly zapsány do tabulky:

Složka	Množství í [kg.kg ⁻¹]	Rovnice	Výpočet	V _{O2,t}	Spaliny [kg ⁻¹ .kg ⁻¹]				
					CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂	O ₂
C	0,4795	C+O ₂ =CO ₂	22,4/12.C 44/12.C	1,0829	1,4890				
H ₂	0,0294	H ₂ + 0,5.O ₂ = H ₂ O	22,4/4.H ₂ 18/2.H ₂	0,3984		0,4482			
S	0,0057	S + O ₂ = SO ₂	22,4/32.S 64/32.S	0,0000			0,0000		
O ₂	0,0526			-0,3434					
N ₂	0,0071							0,0048	
W	0,0847					0,1360			
N _{2,vz}		V _{O2,t} ·(76,9/23,1).n						3,7882	
O _{2,př}		V _{O2,t} ·(n-1)							0,1991
				1,1379	1,4890	0,5842	0,0000	3,7930	0,1991

Tabulka č. 8.31 Množství spalin - biomasa

Výpočet objemového množství spalin

$$\varpi_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{1,4890}{6,0653} \cdot 100 = 24,55\%$$

$$\varpi_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{0}{6,0653} \cdot 100 = 0\%$$

$$\varpi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{0,5842}{6,0653} \cdot 100 = 9,63\%$$

$$\varpi_{\text{N}_2} = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{3,7930}{6,0653} \cdot 100 = 62,54\%$$

$$\varpi_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{sp}}} \cdot 100 = \frac{0,1991}{6,0653} \cdot 100 = 3,28\%$$

Referenční obsah kyslíku pro pevná paliva činí $\varpi_{\text{O}_2, \text{ref}} = 6\%$

$$\text{CO}_2, \text{ref} = \text{CO}_2 \cdot \frac{23,1 - \varpi_{\text{O}_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{\text{O}_2}} = 1,4890 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,28} = 1,2847 \text{ kg / kg}$$

$$\text{SO}_2, \text{ref} = \text{SO}_2 \cdot \frac{23,1 - \varpi_{\text{O}_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{\text{O}_2}} = 0 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,28} = 0 \text{ kg / kg}$$

$$\text{H}_2\text{O}, \text{ref} = \text{H}_2\text{O} \cdot \frac{23,1 - \varpi_{\text{O}_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{\text{O}_2}} = 0,5842 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,28} = 0,5040 \text{ kg / kg}$$

$$\text{N}_2, \text{ref} = \text{N}_2 \cdot \frac{23,1 - \varpi_{\text{O}_2, \text{ref}}}{23,1 - \varpi_{\text{O}_2}} = 3,7930 \cdot \frac{23,1 - 6}{23,1 - 3,28} = 3,2725 \text{ kg / kg}$$

8.5 Závěr stechiometrického výpočtu

Závěrem kapitoly lze shrnout výsledky výpočtu do tabulky, ve které budou uvedeny množství jednotlivých spalin z paliva. Výsledky platí pro spálení 1kg paliva.

	Proplástek		Biomasa	
Spaliny	kg	%	kg	%
CO ₂	1,7582	24,197	1,4890	24,550
SO ₂	0,0114	0,1570	0	0
N ₂	4,8906	67,306	3,7930	62,540
H ₂ O	0,3493	4,8072	0,5842	9,630
O ₂	0,2567	3,5328	0,1991	3,280

Tabulka č. 8.32 – Výsledky výpočtu jednotlivých množství spalin.

Biomasa je emisně neutrální a je při povinném žádání o emisní povolenky vykazována samostatně. Energetické využití biomasy, nemá nepříznivý vliv na vytváření skleníkového efektu.

9. Závěr

Jak bylo uvedeno dříve, závěrem bych rád shrnul výsledky práce. Stávající parní síť centrálního zásobování teplem vchází z historického kontextu, kdy většina dodávek tepla byla určena spíše pro průmyslové procesy vyžadující technologickou páru v chemických závodech a Přerovských Strojárnách. Dodávky tepla pro bytovou sféru byly spíše doplňujícím využitím. V průběhu let se charakter využití tepla změnil. Dodávky tepla v páře jsou dnes třeba pouze do závodu Precheza, který se ovšem nachází v blízkosti zdroje tepla za řekou Bečvou. Stávající síť pomalu dožívá a je postupně obnovována. Odběry tepla stále klesají, především zateplováním obvodových plášťů budov a výměnou oken. Pro srovnání - odběr tepla v páře v roce 2006 byl 1 440 330 GJ/rok, zatím co v roce 2010 pouze 974 185 GJ/rok. Přestavba stávajícího parního potrubí na horkovodní se jeví jako výhodná z následujících důvodů.

Výhody horkovodních sítí oproti parovodním:

- Delší životnost horkovodního potrubí (zejména oproti potrubí kondenzátnímu)
- Umožňuje kvalitnější regulaci dodávky tepla
- Vodní tepelná síť má nižší tepelné ztráty
- Nižší provozní náklady

Nevýhody horkovodních sítí oproti parovodním:

- Investičně náročnější výměňková a oběhová stanice ve zdroji tepla
- Nutné čerpací práce na cirkulaci teplonosného média
- Nutnost vypouštění obsahu potrubí (problematické ve městech při rychlých opravách)

Nová horkovodní síť je v diplomové práci navržena jako bezkanálová s použitím technologie předizolovaného potrubí navrženého v izolační třídě 2+2 (přívod + vrat) viz. kapitola č.2 a kapitola č.4.

Na přestavbu potrubní sítě a změnu topného média navazují další technologické objekty, které je třeba zahrnout do investičního plánu a realizovat je v potřebném rozsahu v rámci přestavby a jednotlivých etap. Jedná se o vybudování nové výměňkové stanice s oběhovými čerpadly ve zdroji tepla a posílení kapacity úpravy vody. Dále se jedná o přestavbu výměňkových stanic, u kterých hlavní etapa modernizace proběhla v minulých letech a v roce 2011 byla ukončena. Předizolované potrubí je vybaveno systémem detekce průniku vlhkosti do tepelné izolace. Horkovodní potrubí je třeba sledovat a odhalovat tak případné poruchy dříve než ohrozí spolehlivost dodávek tepla. Provozní data z jednotlivých odběrných míst je třeba přenášet na nově vybudovaný dispečink řízení

tepelné sítě, ze kterého by bylo možné tepelnou síť sledovat a ovládat. Tyto objekty jsou podrobně popsány v kapitole č. 5.

Celá stavba je vzhledem ke svému rozsahu (délka celé sítě cca 31km) rozdělena do tří etap. V rámci první etapy by měl být přestavěn parovod P4 a část parovodu P1 od ulice Komenského po nemocnici a závod Meopta. Druhá etapa počítá s přestavbou P1 do prostoru bývalé elektrárny, dále s přestavbou parovodu P3 podél řeky Bečvy až k Zemědělské škole, propojení se stávající horkovodní sítí do lokality Předmostí a přestavbu parovodu do areálu firmy ZZN. Současně s přestavbou je možné přestavět parovod pro rychlovýkrm, který vychází z teplárny Přerov jako samostatná větev. V rámci třetí etapy přestavby je nevržena přestavba zbývajících částí tepelné sítě, to znamená nahradit parovod P2 horkovodem, stejně jako propoj parovodů P1 a P3, část parovodu vedoucí ulicí Komenského, kde bude potrubí zokruhováno s první etapou a dále přes centrum města ulicí Palackého přes most Míru propojit potrubí s druhou etapou přestavby. Vedení stávajících tras parovodů je podrobně popsáno v kapitole č. 1.2.

Hlavním cílem diplomové práce bylo určit na základě skutečného toku energie stávající parní tepelné sítě za rok 2010 patrného ze Sankeyova diagramu poskytnutého provozovatelem zdroje tepla – Teplárny Přerov určit jakým způsobem se tyto toky energie změní po přestavbě na horkovodní tepelnou síť. V rámci diplomové práce byla vypočítána stávající **účinnost kombinované výroby 81,574%**. Modul teplárenské výroby je 1,755.

Na základě těchto informací a množství spotřebovaného paliva za rok 2010, který je možné považovat za průměrný, bylo uvažováno se zachováním účinnosti výroby a zachováním teplárenského modulu. Tok energie se změnil následujícím způsobem.

- Dodávka tepla odběratelům zůstala zachována (podrobněji viz. kapitola č.3.2)
- Tepelné ztráty sítě se snížily o 81,7% (podrobněji viz. kapitola č.4.7)
- Úměrně dodávce tepla do sítě (dodávka + ztráty) se snížilo množství tepla pro výrobu elektrické energie (zachování teplárenského modulu).
- Sníží se výroba elektrické energie až o 15,7% (podrobněji viz. kapitola č.7)
- Zvýší se vlastní spotřeba elektrické energie zejména na pohon oběhových čerpadel (podrobněji viz. kapitola č.5).
- Celkově se sníží množství spotřebovaného paliva o 21,5% (podrobněji viz. kapitola č.7).
- V závislosti na snížení množství paliva dojde ke snížení vypouštěných emisí oxidů síry, oxidů dusíku a zejména pak oxidu uhličitého.

Popisovaný stav je možné považovat za jednu z hranic provozování soustavy. Alternativně je možné využít neustále snižujících se potřeb tepla a při provozování tepelné sítě zachovat množství spotřebovaného paliva a díky snížení odběru páry z turbíny TG1 zvýšit průtok nižšími stupni turbíny, čímž dosáhneme zvýšení výroby elektrické energie. Tento provozní stav byl posuzován pouze obecně bez podrobnějšího výpočtu turbíny (není součástí zadání práce). Účinnost turbíny byla stanovena jako poměr energie odvedené ku energii přivedené. Účinnost stávající výroby elektrické energie byla stanovena na 37% (podrobněji viz. kapitola č.7.3). Jestliže budeme uvažovat se zachováním stávající účinnosti a zvýšíme množství přivedeného tepla, můžeme zvýšit výrobu elektrické energie až o 9,1%. Nedojde však ke snížení množství spotřebovaného paliva a množství vyprodukovaných emisí zůstane zachováno. Tento provozní stav stanovuje druhou hranici provozování soustavy.

Skutečný provoz se bude pohybovat ve vymezeném rozsahu.

Varianta provozování	Množství paliva oproti stávajícímu stavu	Výroba elektrické energie oproti stávajícímu stavu
S úsporou paliva	78,5%	-15,7%
Se zachováním množství paliva	100%	+9,1%

Tabulka č. 9.33 Rekapitulace rozsahu provozu zdroje tepla

Závěrem jsou uvedeny v tabulkách emise vypouštěných plynů vypočtené podle údajů o množství a prvkovém složení paliva. V kapitole č.8 je proveden stechiometrický výpočet pro Ostravský proplástek a biomasu. Vzhledem ke skutečnosti, že biomasa je emisivně neutrální bylo sníženo množství Proplásteku.

Množství spalín je vypočtené a se skutečnými hodnotami nemusí zcela souhlasit.

V následující tabulce je uvedeno množství emisí vypouštěných do ovzduší.

Ostravský Proplástek					
Spaliny	kg/kg paliva	tun/rok paliva stávající	emise tun/rok stávající	tun/rok paliva nové	emise tun/rok nové
CO ₂	1,7582	253 641,00	445 951,61	199 047,00	349 964,44
SO ₂	0,0114		2 891,51		2 269,14
N ₂	4,8906		1 240 456,67		973 459,26
H ₂ O	0,3493		88 596,80		69 527,12
O ₂	0,2567		65 109,64		51 095,36

Tabulka č. 9.34 Množství vypouštěných spalin z Proplásteku za rok

Biomasa			
Spaliny	kg/kg paliva	tun/rok paliva stávající	emise tun/rok stávající
CO ₂	1,4890	914,2	1 361,24
SO ₂	0		0,00
N ₂	3,7930		3 467,56
H ₂ O	0,5842		534,08
O ₂	0,1991		182,02

Tabulka č. 9.35 Množství vypouštěných spalin z Biomasy za rok

Množství vypouštěných spalin se sníží stejně jako množství potřebného paliva o 21,5%.

Z uvedeného vyplývá, že přestavba stávající parní tepelné sítě v Přerově na horkovodní se z technického hlediska jeví jako výhodná. Dojde ke značné úspoře energie získané z primárních neobnovitelných energetických zdrojů. Po přestavbě s ní bude nakládáno efektivněji, což bude mít pozitivní vliv na i na životní prostředí.

Poznámka: Číslování v seznamech je prováděno následujícím způsobem. První číslo značí číslo kapitoly, kde se příslušná položka nachází. Druhé číslo značí pořadí od začátku do konce.

Seznam tabulek

Tabulka č. 3.1 Skutečná potřeba tepla v jednotlivých měsících.	45
Tabulka č. 3.2 Korekční součinitele v jednotlivých měsících.	48
Tabulka č. 3.3 Doporučené přenosové schopnosti potrubí	50
Tabulka č. 3.4 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu etapa 1-1	51
Tabulka č. 3.5 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na parovodu etapa 1-1	51
Tabulka č. 3.6 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu etapa 1-2	52
Tabulka č. 3.7 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na parovodu etapa 1-2	52
Tabulka č. 3.8 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu etapa 2	52
Tabulka č. 3.9 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na parovodu etapa 2	53
Tabulka č. 3.10 Přehled hydraulicky vzdálených bodů na horkovodu – poslední etapa 53	
Tabulka č. 4.11 Tepelné ztráty stávající parní sítě.	54
Tabulka č. 4.12 Tepelné ztráty v požadovaných kombinacích izolací [GJ/rok/m]	61
Tabulka č. 4.13 Tepelné ztráty v požadovaných kombinacích izolací [Kč/rok/m]	61
Tabulka č. 4.14 Cena vybraných dimenzí předizolovaného potrubí	62
Tabulka č. 4.15 Výsledná hospodárná tloušťka tepelné izolace potrubí	62
Tabulka č. 4.16 Výsledky tepelných ztrát v [GJ/rok] pro jednotlivé kombinace	63
Tabulka č. 4.17 Suma tepelných ztrát	64
Tabulka č. 4.18 Výpočet teploty v přívodní větvi horkovodní sítě	65
Tabulka č. 4.19 Výsledky tepelných ztrát v [GJ/měsíc] pro izolační třídy 2+2	65
Tabulka č. 6.20 Výpočet tlakové ztráty a dopravovaného množství horkovodní sítě 86	
Tabulka č. 6.21 Převod dopravovaného množství	86
Tabulka č. 6.22 Výpočet dopravní výšky oběhových čerpadel	87
Tabulka č. 6.23 Odečtené výkony čerpadel v jednotlivých měsících	89
Tabulka č. 7.24 Výpis hodnot ze Sankeyova diagramu toku energií 2010	90
Tabulka č. 7.25 Složení paliva – Ostravský proplástek	91
Tabulka č. 7.26 Složení paliva – Biomasa	92
Tabulka č. 7.27 Výpis hodnot ze Sankeyova diagramu toku energií – po přestavbě 94	
Tabulka č. 8.28 Přepočet složení paliva - Proplástek	100
Tabulka č. 8.29 Přepočet složení paliva – Biomasa	100

Tabulka č. 8.30 Množství spalin - proplástek	102
Tabulka č. 8.31 Množství spalin – biomasa	105
Tabulka č. 8.32 Výsledky výpočtu jednotlivých množství spalin	106
Tabulka č. 9.33 Rekapitulace rozsahu provozu zdroje tepla	109
Tabulka č. 9.34 Množství vypouštěných spalin z Proplástek za rok	110
Tabulka č. 9.35 Množství vypouštěných spalin z Biomasy za rok	110

Seznam obrázků a schémat

Obrázek č. 2.1 Parovod s parním i kondenzátním potrubím ve společném kanále.	21
Obrázek č. 2.2 Parovod s vlastním parním a kondenzátním kanálem.	21
Obrázek č. 2.3 Klasické uspořádání horkovodního potrubí v kanále.	22
Obrázek č. 2.4 Uspořádání bezkanálového spojitého horkovodního potrubí.	23
Obrázek č. 3.5 Příklad zadaného úseku pro vodní tepelnou síť.	46
Obrázek č. 3.6 Příklad zadaného úseku pro parní tepelnou síť.	47
Obrázek č. 3.7 Diagram doporučených rychlostí proudění	50
Schéma č. 5.8 Návrh dispozice nové výměňkové stanice ve zdroji tepla pára-voda.	69
Schéma č. 5.9 Výměňkové stanice s otevřeným parokondenzátním okruhem	76
Schéma č. 5.10 Výměňkové stanice s uzavřeným parokondenzátním okruhem	77
Schéma č. 5.11 Výměňková stanice voda – voda	77
Obrázek č. 5.12 Schéma stanice v programu RELIANCE	81
Obrázek č. 6.13 Schéma tlakového diagramu horkovodní sítě.	87
Obrázek č. 7.14 Sankeyův diagramu toku energií – stávající stav za rok 2010	91
Obrázek č. 7.15 Sankeyův diagramu toku energií – nová horkovodní tepelná síť	96

Seznam použité literatury

[L1] Ing. František Holub – Ing. Jaromír Kružík CSc. – Ing. Jaroslav Veselský: Moravskoslezské teplárny – 100 let služeb veřejnosti. Moravskoslezské teplárny a.s. 1998.

[L2] Ing. František Hnilica – Ing. Ervín Malina – Karel Malina – Ing. Jaroslav Šejvl: Energetika v Severomoravském Kraji. Severomoravské energetické závody, Národní podnik Ostrava. Ostravsko Karvinské elektrárny, Národní podnik Ostrava. Ostrava 1969

[L3] Ing. Jiří Maus : Úkol ViR závodu 17 000 Přerov – Přestavba parních soustav na vodní část – Tepelné sítě. Přerov 1984

[L4] Vlach – Zásobování teplem a teplárenství. SNTL Praha 1989.

- [L5] Ing. Zdeněk Dvořák – Ing. Olga Mrózková – Ing. Pavel Ochotný – Ing. Ivan Bidlas:
Program RT 007 a RT 004. Energoprojekt Praha a.s. Praha 1994
- [L6] ČSN 38 3350 – Zásobování teplem – Všeobecné zásady
- [L7] ČSN EN 10216 – Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení
- [L8] ČSN EN 10217 – Svařované ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení
- [L9] Studie “Optimalizace provozu parní sítě CZT Přerov“, zpracovala Energoprojekta
Přerov s.r.o. v 10/2006,zak. číslo 05506-001.
- [L10] ČSN EN 13 941 - Navrhování a instalace bezkanálových předizolovaných
sdružených potrubních systémů pro vedení vodních tepelných sítí.
- [L11] ČSN 38 3360 - Tepelné sítě. Strojní a stavební část – projektování
- [L12] <http://old.chmi.cz/meteo/ok/okdata12.html>
- [L13] Studie „TPŘ – přestavba parní sítě na horkovodní“, zpracovala Energoprojekta
Přerov s.r.o. v 05/2000,zak. číslo 02000-001.
- [L14] Mapa města Přerov v měřítku 1:5500 a nástěnná mapa 1:3800 se zákresem parních
sítí, které byly v roce 2010 v provozu – zpracovala Dalkia ČR – divize Přerov (propagační
materiál)
- [L15] Katalog předizolovaného potrubí PAN – ISOVIT. Tento výrobce již neexistuje.
- [L16] <http://www.kotrбаты.cz/?page=literature&lang=cz>
- [L17] Katalog firmy IZO spol. s.r.o.
- [L18] Pavel Noskievič: Spalování uhlí. VŠB – TU Ostrava 2005
- [L19] Hradil F: Potrubní systémy. VŠB – TU Ostrava 1979
- [L20] Kolat. P: Přenos tepla a hmoty. VŠB – TU Ostrava 1987
- [L21] Isoplus-EOP s.r.o. : Technika zásobování teplem / Projektování – konstrukce. Vydání
2006

Seznam příloh

Příloha č. 1	Etapa přestavby č. 1.1	A3
Příloha č. 2	Etapa přestavby č. 1.2	A3
Příloha č. 3	Etapa přestavby č. 2	A3
Příloha č. 4	Etapa přestavby č. 3 – dokončení přestavby	A3
Příloha č. 5	Výpočtové schéma horkovodní sítě	A1
Příloha č. 6	Výpočtové schéma stávající parní sítě	A1
Příloha č. 7	Tlakové diagramy horkovodní sítě (pouze etapa č. 3)	A1
Příloha č. 8	Výsledky výpočtu tepelných ztrát pro 130/70°C a 80/50°C	3xA4
Příloha č. 9	Výpočet výměníku tepla 90MW pro zdrojovou stanici	4xA4
Příloha č. 10	Konstrukční návrh výměníku tepla 90MW	A1
Příloha č. 11	Nabídka oběhových čerpadel včetně charakteristik	4xA4
Příloha č. 12	Kvalitativní list – Proplástek, z dolu Karviná – závod ČS Armády a závod Lazy	3xA4
Příloha č. 13	Výsledky výpočtů hydraulických poměrů pro jednotlivé Etapy, (pouze v elektronické podobě na přiloženém CD)	